PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 7 — 1. April 1940 — Redaktionsschluß für Nr. 9 am 15. April 1940 — 41. Jahrgang

INHALT:

F. Henning, Regierungsrat Dr. Ing. Sigmund Erk zum Gedächtnis. S. 153.

Abhandlungen:

A. Scheibe und U. Adelsberger, Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 50 min. S. 156.

Berichte:

K. Diebner und E. Graßmann, Künstliche Radioaktivität. V. S. 157.

Besprechungen:

L. Bergmann, Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. S. 195.

L. Föppl, Aufgaben aus technischer Mechanik. Unterstufe: Statik, Festigkeitslehre, Dynamik. S. 195.

K. Gey und H. Teichmann, Einführung in die Lehre vom Schuß (Ballistik). S. 195.

G. S. Ohm als Lehrer und Forscher in Köln 1817 bis 1826. Festschrift zur 150. Wiederkehr seines Geburtstages. S. 195.

K. Stumpff, Tafeln und Aufgaben zur harmonischen Analyse und Periodogrammrechnung. S. 196.

Nachrichten. S. 196.

Nachruf. S. 196.

Regierungsrat Dr. Ing. Sigmund Erk zum Gedächtnis

Von F. Henning

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Am 18. Dezember 1939 ist Dr. Ing. Sigmund Erk infolge einer Erkrankung, die er sich als Hauptmann und Adjutant einer Nachrichtenabteilung an der Westfront zugezogen hatte, in Frankfurt a. M. in einem Reserve-Lazarett, erst 44 Jahre alt, verstorben. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt betrauert den allzu frühen Heimgang dieses führenden Mitarbeiters, der mit großer Tatkraft und Arbeitsfreude acht Jahre lang das Laboratorium für Viskosimetrie und Erdölapparate leitete.

Dr. Erk war am 11. Juli 1895 geboren, trat am 1. April 1922 als Diplomingenieur und wissenschaftlicher Hilfsarbeiter in die Reichsanstalt ein, wurde am 1. Juni 1926 zum Regierungsrat und am 1. August 1931 zum Mitglied ernannt.

Seine ersten Arbeiten führte er gemeinsam mit dem Leiter des Wärmetechnischen Laboratoriums über den Druckabfall von Gasen und Flüssigkeiten beim Strömen durch Rohre aus. Schon damals knüpfte er Beziehungen zum Verein Deutscher Ingenieure an, die er ständig gepflegt hat, um die Verbindung mit der Praxis aufrecht zu erhalten. Die Fragen der Flüssigkeitsreibung haben ihn von da an bis zum Ende seines Lebens beschäftigt. Schon im Jahre 1923 bemühte er sich, auf experimentellem Wege die Beziehung zwischen der Zähigkeit in absoluten Einheiten und derjenigen in dem rein empirischem Maß der Engler-Grade aufzufinden. 12 Jahre später führte er die gleiche Arbeit für die Saybolt-Sekunde, das empirische Zähigkeitsmaß der Amerikaner, durch. Er baute ein Viskosimeter für absolute Messungen und war bereits 1924 bemüht, die Eichung der gebräuchlichen Zähigkeitsmesser anstatt durch Wasser durch gewisse Normaleichöle vorzunehmen, die sich wesentlich besser als Wasser den wirklichen Versuchsbedingungen anpassen. Dies Verfahren hat sich in jeder Beziehung bewährt und ist in die Praxis eingeführt worden. Eine gründliche Untersuchung der

Strömung von Flüssigkeiten in Kapillaren einschließlich der Berichtigungen der Messungen infolge der kinetischen Energie ausfließender Strahlen und der Störungen an den Enden der Kapillaren reichte er als Dissertation bei der Technischen Hochschule München ein, worauf er im Jahre 1926 zum Dr. Ing. promoviert wurde.

Sigmund Erk hat aber nicht nur das Verdienst, die Zähigkeitsmessungen in Deutschland auf eine feste Grundlage gestellt zu haben, sondern ihm gebührt auch Anerkennung dafür, daß er sich mit aller Kraft für eine internationale Regelung aller wesentlichen Probleme seines Hauptarbeitsgebietes einsetzte. Im Jahre 1928 betrieb er den Austausch von vier Normalölen mit dem Bureau of Standards. Da die Vergleichsmessungen zunächst Unterschiede von 2 bis 3 Proz. lieferten, setzte er nun alles daran, um die Übereinstimmung zu verbessern. Deshalb regte er im Jahre 1930 an, geeichte Viskosimeter zwischen der Reichsanstalt und den Staatsinstituten in Amerika und England auszutauschen und ein internationales Abkommen über die Umrechnung der empirischen Zähigkeitsmaße dieser Länder zu treffen. Zur weiteren internationalen Sicherstellung der Messungen wurden 1931 noch einmal vier Normalöle des Bureau of Standards durch Erk untersucht und ein besonders sorgfältig von ihm geeichtes Viskosimeter in die Vereinigten Staaten gesandt. Auch mit dem französischen Petroleuminstitut in Straßburg fand 1932 ein ähnlicher Austausch statt, der eine weitere Zusammenarbeit bis in die letzte Zeit zur Folge hatte.

Im Juli 1933 nahm Erk an dem Welt-Petroleum-Kongreß in London teil. Hier wurde unter seiner Mitwirkung im Ausschuß für Viskositätsfragen des neuen internationalen Verbandes für Materialprüfungen erneut beschlossen, daß zwei vom englischen Staatsinstitut genormte Kapillar-Viskosimeter außer in der Reichsanstalt und dem Bureau of Standards auch in dem genannten französischen Institut durchgemessen werden sollten.

Neben der Forderung der praktischen Zähigkeitsmessung hat sich Erk immer bemüht, die wissenschaftlichen Grundlagen seines Arbeitsgebietes zu erweitern. Fortlaufend erstattete er auch hierüber auf nationalen und internationalen Kongressen Bericht. Auf Veranlassung des Ausschusses IX (Schmiermittel) des Deutschen Verbandes für die Materialprüfung in der Technik übernahm er eine systematische Untersuchung des Verhaltens der Öle in der Kälte. Bei den Schmierölen und den Treibstoffen wurde unter Anwendung neuer Verfahren der Fließwiderstand sowie der Stockpunkt und die Fließgrenze untersucht. Er fand bald, daß zwischen den letzteren beiden Größen kein einfacher Zusammenhang besteht, und daß der Paraffingehalt der Öle, insbesondere das bei tiefer Temperatur sich bildende, aber durch mechanische Einwirkung leicht zerstörbare Paraffin-Kristallgitter von entscheidender Bedeutung ist. Zwecks eingehenden optischen Studiums dieser Vorgänge bediente er sich eines Polarisations-Mikroskops, das er in sinnreicher Weise für Beobachtungen bis — 60° brauchbar machte. An diesen Untersuchungen zeigten bald nicht nur die großen Mineralölwerke der Industrie, sondern auch behördliche Stellen lebhaftes Interesse.

Ganz folgerichtig kam er von der Zähigkeit tief abgekühlter Öle zur Plastizität und Verformbarkeit der festen Stoffe, die er besonders an den Kunstharzen und Preßstoffen studierte. Hierbei ergab sich, daß die übliche Definition der Härte hier ihre Gültigkeit verliert, und daß es notwendig sei, neue Vorschläge für eine einwandfreie Kennzeichnung der Härte dieser Werkstoffe zu machen. Auch die Wärmeleitung der Kunst- und Preßstoffe hat er in den Kreis seiner Untersuchungen gezogen und dabei einen tiefgehenden Einfluß der sogenannten Füllstoffe festgestellt.

Die Flüssigkeitsreibung ist indessen nicht das einzige Arbeitsgebiet, dem Sigmund Erk sich zugewandt hatte. Schon der Umstand, daß auch die Untersuchung von Flammpunktsprüfern zu seinen Dienstobliegenheiten gehörte, führte ihn zu einer systematischen Untersuchung dieser

Geräte. Das Ergebnis bildete die Grundlage für das von ihm aufgestellte Normblatt über Flammpunktsprüfer. Er hat sich auch mit allem Eifer der Bearbeitung von Fragen auf dem Gebiet der Wärmetechnik gewidmet, so insbesondere der Wärmeleitung von Wasser und Eis und von Metallen bei höheren Temperaturen. Ferner führte er in Gemeinschaft mit anderen Mitarbeitern umfangreiche Messungen über den Wärmeübergang von Satt- und Heißdampf an horizontale und vertikale Rohre durch, wobei zugleich die Nusseltsche Theorie von der Oberflächenkondensation geprüft wurde. Auch war er beteiligt bei der Bestimmung der Wärmeausdehnung des Eises bis herab zu $-250°$.

Nicht unerwähnt bleiben darf die vielfache Mitarbeit Erks in verschiedenen Ausschüssen und seine umfangreiche literarische Tätigkeit. In seiner Hand lag die Obmannschaft im Arbeitsausschuß „Zähigkeit und Plastizität" des Fachausschusses für Verfahrenstechnik im VDI, sowie die Obmannschaft des Unterausschusses „Zähigkeit bei tiefen Temperaturen" im Ausschuß über die Prüfung von Schmiermitteln des Deutschen Verbandes für Materialprüfung. Er war Mitglied der Arbeitsgruppe für physikalische und chemische Bewertung von Kunststoffen im VDI sowie der Arbeitsgruppe „Schmiertechnik" im Fachausschuß für Maschinenelemente des VDI. Ferner hatte er die Mitgliedschaft im Deutschen Luftfahrzeugausschuß sowie im Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen übernommen. Die Reichsanstalt vertrat er im Ausschuß für das Studium der Zähigkeit in dem internationalen Verband für Materialprüfung. Im engen Zusammenhang mit dieser Tätigkeit nahm er häufig an Versammlungen wissenschaftlich-technischer Art teil, auch im Ausland, so 1933 und 1936 in London und 1938 in Rom.

Die Zahl seiner Veröffentlichungen ist größer als 100. Davon erschienen etwa 20 als amtliche Mitteilungen der Reichsanstalt und eine Reihe als umfassende Beiträge für Handbücher oder andere Sammelwerke.

Zur Durchführung der umfangreichen experimentellen Tätigkeit, die ja auch die Grundlage für seine übrigen Arbeiten war, standen Sigmund Erk nicht nur die ansehnlichen Mittel der Reichsanstalt zur Verfügung, sondern vielfach auch die Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Vereins Deutscher Ingenieure. Insbesondere in den letzten Jahren erfreute er sich auch der Hilfe einer Reihe junger, tüchtiger Mitarbeiter. Mit der Fülle der Aufgaben aber wurde der ihm zur Verfügung stehende Laboratoriumsraum immer beengter. Dies war eine Sorge, die ihn bis zuletzt beschäftigte. Noch wenige Tage vor seinem Tode äußerte er sich darüber ausführlich in einem Brief.

In all seinen Zielen war er immer von dem Gedanken geleitet, auf seine Schultern ein gut Teil der Pflichten zu übernehmen, die die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zu erfüllen hat, und deren Tradition in bester Weise weiter zu führen.

Abgeschlossen vor uns liegt ein Leben voll ernsten Strebens, gewidmet der Verbindung von Wissenschaft und Praxis, aber auch ein Leben voll Pflichterfüllung gegenüber dem Vaterland, für das er seine Gesundheit opferte und für das er in den Tod ging.

ABHANDLUNGEN

Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 50 min.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Die Zahlen der Spalten 2 bis 6 geben an, um wieviel in 10^{-9} des Wertes der Betrag der ausgestrahlten Frequenz vom Sollwert 1000,000000 Hz abweicht. Die Abweichung wurde mittels der Quarzuhren der Reichsanstalt bestimmt.

1	2	3	4	5	6
Tag	1939 November	1939 Dezember	1940 Januar	1940 Februar	1940 März
1.	+ 5	+ 34	—	− 7	+ 10
2.	+ 4	+ 33	+ 13	− 16	+ 4
3.	—[1])	—	+ 14	− 1	—
4.	+ 18	+ 40	—	—	0
5.	—	+ 31	+ 28	+ 9	+ 7
6.	+ 30	+ 29	+ 7	+ 4	+ 8
7.	+ 31	+ 35	—	+ 14	+ 19
8.	+ 34	+ 18	+ 34	+ 3	+ 8
9.	+ 42	+ 26	+ 39	+ 14	+ 13
10.	+ 46	—	+ 26	+ 14	—
11.	—[1])	+ 27	+ 20	—	+ 21
12.	—	+ 19	+ 13	+ 12	+ 9
13.	+ 24	+ 32	+ 24	+ 12	+ 9
14.	+ 30	+ 34	—	+ 14	+ 6
15.	+ 28	+ 35	+ 9	+ 8	+ 4
16.	+ 21	+ 29	+ 14	+ 12	+ 1
17.	+ 24	—	+ 12	+ 18	—
18.	+ 20	+ 30	− 4	—	+ 10
19.	—	+ 21	+ 25	+ 8	+ 6
20.	+ 26	+ 6	+ 40	+ 16	+ 7
21.	+ 19	+ 14	—	+ 13	− 2
22.	+ 31	+ 9	− 6	+ 7	—
23.	+ 23	+ 3	+ 8	+ 8	− 3
24.	+ 29	—	− 11	+ 6	—
25.	+ 29	—	− 2	—	—
26.	—	—	− 4	+ 12	+ 10
27.	+ 30	+ 2	− 14	+ 17	+ 3
28.	+ 30	+ 11	—	+ 6	0
29.	+ 29	+ 14	− 7	− 3	+ 9
30.	+ 24	+ 22	− 4		+ 2
31.		—	− 16		—

1) Aussendung hat nicht stattgefunden.

Berlin-Charlottenburg, den 4. April 1940.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Abt. II.
Im Auftrage:
A. Scheibe, U. Adelsberger.

BERICHTE

Künstliche Radioaktivität. V

Von K. Diebner und E. Graßmann

In Fortsetzung der bisherigen Zusammenfassungen[1]) werden im folgenden Bericht die Ergebnisse bis etwa Ende 1939 berücksichtigt.

Es wurden wieder nur die Elemente angeführt, die entweder erst neuerdings aktiviert werden konnten (Ordnungszahl und Symbol doppelt unterstrichen) oder bei denen Ergänzungen erforderlich wurden (einfach unterstrichen). Eine Änderung gegenüber den früheren Abhandlungen ist durch die Bezeichnung der metastabilen Kerne durch einen Stern (z. B. $^{87}Sr^*$) eingetreten.

Literaturstellen sind bei den einzelnen Autoren angegeben. Die Numerierung schließt sich an die Veröffentlichungen I—IV an.

Der Bericht ist unterteilt in:

I. Künstliche Radioaktivität durch Helium-^3He-Teilchen.
II. Künstliche Radioaktivität durch α-Teilchen.
III. Künstliche Radioaktivität durch Protonen.
IV. Künstliche Radioaktivität durch Deutonen.
V. Künstliche Radioaktivität durch Neutronen.
VI. Künstliche Radioaktivität durch Röntgen- und Gammastrahlen.

I. Künstliche Radioaktivität durch Helium-^3He-Teilchen

14. *Si.* Alvarez und Cornog (481) unternahmen den Versuch, Aktivitäten durch Verwendung von ^3He-Teilchen zu erzielen. Sie beobachteten bei Silizium eine Aktivität mit der Halbwertszeit von 2,5 min, die durch den Prozeß:

$$^{28}Si + {}^3He \rightarrow {}^{30}P + {}^1H$$
$$^{30}P \rightarrow {}^{30}Si + e^+$$

gedeutet wird.

Die bisher beobachteten Zerfallszeiten des Kerns ^{30}P lagen bei etwa 3 min.

1) K. Diebner und E. Grassmann, Physik. Zeitschr. **37**, 359, 1936; **38**, 406, 1937; **39**, 469, 1938; **40**, 297, 1939. Künstliche Radioaktivität (Experimentelle Ergebnisse von K. Diebner u. E. Grassmann, Verlag S. Hirzel 1939).

II. Künstliche Radioaktivität durch α-Teilchen

5. *B.* Pollard (628) fand bei Beschießung von Bor mit α-Teilchen Protonen, die auf den Prozeß

$$^{11}B\,(\alpha,\,p)\,^{14}C$$

mit dem aktiven Isotop ^{14}C hindeuten.

^{14}C soll, entgegen den bisherigen Werten von etwa 3 Monaten, eine Halbwertszeit von mehreren Jahren haben.

6. *C.* Kohlenstoff konnte erstmalig von King u. a. (482) durch α-Teilchen — es wurden solche von 11 MeV verwendet — aktiviert werden.

Es zeigte sich eine Periode von 2,1 min, die dem Prozeß

$$^{12}C\,(\alpha,\,n)\,^{15}O$$

zugeordnet wird.

Der hier gefundene Wert von 2,1 min für die Halbwertszeit des Isotops ^{15}O stimmt mit anderweitigen Messungen überein.

9. *F.* Zur Vervollständigung muß nachgetragen werden, daß Magnan (359e) für das aktive Isotop ^{22}Na die obere Grenze des Positronenspektrums zu 0,6 MeV in Einklang mit den Werten von 0,4 und 0,58 MeV von anderer Seite gemessen hatte.

11. *Na.* Magnan (359e) hatte auch die obere Grenze des Positronenspektrums der auf den aktiven Kern ^{26}Al zurückgehenden Natriumaktivität gemessen. Ihr Wert von 4,6 MeV weicht jedoch von anderen Angaben (1,5 und 1,8 MeV) erheblich ab.

12. *Mg.* Mit α-Teilchen von 16 MeV konnten Henderson u. a. (483) die beiden bekannten auf ^{27}Si und ^{28}Al zurückgehenden Magnesiumaktivitäten mit den Halbwertszeiten von 6,4 bzw. 2,3 min bestätigen, fanden aber keine Anzeichen für die Aktivität des Isotops ^{29}Al.

In einer späteren Untersuchung beobachteten Bethe und Henderson (629) bei Verwendung von α-Teilchen derselben Energie wie früher (483) neben einer geringen Zahl von Positronen, die durch eine Verunreinigung mit Kalzium verursacht waren, nur Elektronen. Daher kann die 6,7-min-Periode nicht mehr dem Isotop ^{27}Si zugeordnet, sondern muß dem Isotop ^{29}Al zugeschrieben werden.

Die obere Grenze des Elektronenspektrums betrug 2,5 MeV.

13. *Al.* Das Positronenspektrum der durch das Isotop ^{30}P bedingten Aluminiumaktivität hat nach Magnan (359e) eine obere Grenze von 3,5 MeV, während andere Messungen die Werte von 3,5, 2,6 und 2,56 MeV ergeben hatten. Ornstein u. a. (471) nahmen die Anregungsfunktion des Prozesses

$$^{27}Al(\alpha, n)^{30}P$$

für α-Teilchen zwischen 7,8 und 8,75 MeV auf und fanden Anzeichen für 3 Resonanzstellen.

14. *Si.* Die früher beobachtete und dem Prozeß

$$^{29}Si(\alpha, p)^{32}P$$

zugeordnete Siliziumaktivität wurde von King u. a. (482) bestätigt.

16. *S.* Schwefel wurde erstmalig von King u. a. (482) mit α-Teilchen von 16 MeV aktiviert und zeigte eine Periode von 1,1 h.

19. *K.* Es ist eine frühere Messung von Magnan (359e) über die mit einem *Sc*-Isotop verbundene Kaliumaktivität nachzutragen. Er bestimmte die obere Grenze des Positronenspektrums zu 1,9 MeV, während von anderer Seite ein Wert von 1,6 MeV vorliegt.

22. *Ti.* Titan weist eine Reihe von langlebigen Aktivitäten auf, die von Walke u. a. (484) untersucht wurden:

1. Die Periode von 600 ± 50 d. Als aktives Isotop wurde ein Vanadiumisotop chemisch nachgewiesen und ^{47}V angenommen. Der Zerfall des aktiven Isotops geht durch Einfangen eines Elektrons der *K*-Schale und durch Positronenemission vor sich, und zwar im Verhältnis 0,4 : 1.
2. Die Periode von 72 ± 2 d. Als aktives Isotop wird der isomere Kern ^{51}Ti vermutet. Das Elektronenspektrum hat eine obere Grenze von 0,36 MeV.
3. Die Periode von 85 d.
   Das aktive Isotop ist ^{46}Sc, das durch Einfangen eines Elektrons aus der *K*-Schale und durch Elektronenemission zerfällt.
   Das Elektronenspektrum hat eine obere Energiegrenze von 0,25 MeV.
   Außerdem tritt eine Gammastrahlung von 0,93 MeV auf.
4. Die Periode von 450 ± 50 d. Das aktive Isotop ist wahrscheinlich ^{51}Cr. Das Positronenspektrum hat eine obere Grenze von 0,34 MeV.

30. *Zn.* Mann (453) fand eine neue Periode von 4 h, die er dem Prozeß

$$^{64}Zn(\alpha, p)^{67}Ga$$

zuschreibt.

34. *Se.* Mit den sehr energiereichen α-Teilchen von 16 MeV vermochten King u. a. (482) Selen erstmalig zu aktivieren und die Perioden von 1–2 min, 1 h und 6 h festzustellen.

41. *Nb.* Niobium wurde ebenfalls von King u. a. (482) aktiviert und zeigte eine Periode von 3 h, sowie zwei kürzere Aktivitäten.

42. *Mo.* Molybdän zeigte in den Versuchen von King u. a. (482) eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von 85–90 min.

45. *Rh.* Bei Rhodium bestätigten King u. a. (482) die bereits bekannte, auf ein aktives Silberisotop zurückzuführende Periode von 24,5 min.

47. *Ag.* Mit α-Teilchen konnte Silber erst in neuerer Zeit von King u. a. (482) aktiviert werden. Es trat eine Periode von 26,8 min auf, die dem Prozeß

$$^{107}Ag(\alpha, n)^{110}In$$

zugeschrieben wird. Das aktive *In*-Isotop wurde chemisch nachgewiesen.

Eine spätere Untersuchung von King u. a. (630) befaßte sich eingehend mit der Aktivität des Silbers und lieferte folgende Ergebnisse:

1. Es trat eine Periode von 20 min mit Positronenemission und einem chemisch nachgewiesenen aktiven *In*-Isotop auf.
   Sie ist identisch mit der in letzter Zeit bei Beschießung von Kadmium mit Protonen beobachteten Periode, wird aber hier dem aktiven Isotop ^{112}In gemäß:
   $$^{109}Ag(\alpha, n)^{112}In$$
   zugeschrieben.
2. Dem Isotop ^{112}In war bisher die Periode von 72 sec zugeordnet worden. Da sich diese Periode aber bei diesen Versuchen nicht zeigte, war ^{112}In zur Deutung der 20-min-Periode frei.
   Die 72-sec-Periode, die bei Bestrahlung von Indium mit Neutronen und γ-Strahlen auftrat, ist möglicherweise durch das aktive Isotop ^{111}In und die Prozesse $(n, 3n)$ bzw. $(\gamma, 2n)$ zu erklären.
3. Es zeigte sich die Periode von 65 min mit Positronenemission und einem chemisch nachgewiesenen aktiven *In*-Isotop, vermutlich ^{110}In.
4. Die schwache Aktivität von etwa 9 h mußte einer Verunreinigung durch *Cu*, wodurch ein aktives *Ga*-Isotop entsteht, zugeschrieben werden.
5. Ebenso ist anzunehmen, daß die schwache Periode von 2–3 d durch eine Verunreinigung verursacht war.

48. *Cd*. Kadmium wurde erstmals von Livingood u. a. (485) aktiviert und zeigte die Perioden von:

1. 25 min mit Elektronenemission.
2. 3 h mit Elektronenemission.
3. 13 d mit Elektronenemission.
4. 70 d mit Elektronenemission.

Als Umwandlungsprozeß der letzten Periode kann

$$^{110}Cd(\alpha, p)^{113}Sn$$

gelten, wobei der Kern ^{113}Sn ein Elektron aus der *K*-Schale einfängt und dadurch in ^{113}In übergeht.

Für alle 4 Perioden wurden die aktiven Bestandteile als Zinn chemisch nachgewiesen.

King u. a. (630) suchten vergeblich nach der 72-sec-Periode eines aktiven *In*-Isotops.

49. *In*. In den Versuchen von Lark-Horovitz u. a. (487) mit α-Teilchen von 16 MeV trat eine Periode von 4 h auf, als deren aktiver Bestandteil Indium chemisch festgestellt wurde. Wahrscheinlich handelt es sich um den im metastabilen Zustand befindlichen Kern $^{115}In^*$. Bei dieser Deutung müßte allerdings ein (α, α)-Prozeß vorliegen.

Mit α-Teilchen von 8,5 MeV zeigt, nach den Beobachtungen von Barnes u. a. (486), Indium diese 4-h-Aktivität nicht.

Lark-Horovitz u. a. (487) berichten von drei weiteren Perioden von etwa 5 min mit Positronenemission, etwa 1 h und etwa 0,5 d.

51. *Sb*. Das erstmalig von Livingood u. a. (454) aktivierte Antimon — mit α-Teilchen von 16 MeV — zeigte die beiden Aktivitäten:

1. Mit der Halbwertszeit von 13 ± 0,3 d mit Elektronenemission. Als Entstehungsprozeß hat zu gelten

$$^{123}Sb(\alpha, n)^{126}J.$$

Die Ausbeute beträgt $10 \cdot 10^{-8}$ aktive *At*/α-Teilchen.

2. Mit der Halbwertszeit von 4,0 ± 0,3 d mit Positronenemission. Als Kernprozeß wird

$$^{121}Sb(\alpha, n)^{124}J$$

angesehen, wobei die Ausbeute $5 \cdot 10^{-8}$ aktive *At*/α-Teilchen beträgt.

79. *Au*. Sogar bei einem so schweren Element wie Gold wird bei Beschießung mit α-Teilchen von 16 MeV eine Aktivierung erreicht. King u. a. (482) berichten von zwei Perioden von 4 min und 3,75 h. Es bestehen jedoch keinerlei Anhaltspunkte über die Natur der aktiven Bestandteile.

III. Künstliche Radioaktivität durch Protonen

3. *Li*. Mit Protonen von 6,5 MeV wurde Lithium von Hill u. a. (488) erstmalig aktiviert. Es trat die Periode von 43 d auf, die durch den Prozeß

$$^{7}Li(p, n)^{7}Be$$

erklärt wird. Es wurde eine γ-Strahlung von 0,44 MeV, aber keine Positronenemission beobachtet. Der Prozeß erfordert eine Mindestenergie der Protonen von 1,75 ± 0,05 MeV.

5. *B*. Während bisher nur die auf ^{7}Be zurückzuführende Boraktivität bekannt war, fand Barkas (489) mit Protonen von 6 MeV eine sehr starke Aktivität des aktiven Isotops ^{11}C (20 min). Da in den Versuchen von Curran u. a. (455) bei Verwendung von Protonen von nur 950 ekV diese 20-min-^{11}C-Periode nicht beobachtet werden konnte, ist zu schließen, daß das aktive Isotop fast ausschließlich durch den Prozeß

$$^{11}B(p, n)^{11}C$$

entsteht. Die Neutronen dieses Prozesses wurden auch von Barkas (489) nachgewiesen.

6. *C*. Die Halbwertszeit der bekannten, durch das Isotop ^{13}N bedingten Kohlenstoffaktivität wurde von Curran u. a. (455) zu 9,9 min gemessen. Dieser Wert liegt etwas niedriger als andere Messungen. Die Ausbeute betrug $2{,}5 \cdot 10^{-10}$ aktive At/Proton. Sie fanden ferner eine γ-Strahlung von 2,6 MeV und bestätigten die Resonanzstelle des Aktivierungsprozesses von 480 ekV.

7. *N*. Barkas (489) und Withe u. a. (490) beobachteten mit Protonen von 6 MeV eine Periode von 21 bzw. 20 min, für die der Prozeß:

$$^{14}N(p, \alpha)^{11}C$$

verantwortlich gemacht wird. Barkas fand eine Emission von Positronen und wies das aktive Kohlenstoffisotop chemisch nach.

9. *F*. Fluor wurde erstmalig von Creutz u. a. (491) aktiviert. Eine spätere Untersuchung (490) zeigte, daß die Halbwertszeit 20,3 ± 0,5 sec und die obere Energiegrenze des Positronenspektrums 2,2 MeV beträgt. Der Kernprozeß ist

$$^{19}F(p, n)^{19}Ne$$

und erfordert mindestens eine Protonenenergie von 4,18 MeV.

11. *Na*. Creutz u. a. (491) vermochten auch in Natrium erstmalig eine Aktivität zu erzeugen. Nach ihren neueren Messungen (490) beträgt die Halbwertszeit 11,6 ± 0,5 sec und die obere

Grenze des Positronenspektrums 2,82 MeV. Der Umwandlungsprozeß ist wahrscheinlich

$$^{23}Na(p, n)^{23}Mg$$

und setzt bei einer Protonenenergie von 4,78 ± 0,3 MeV ein.

Außer der Positronvernichtungsstrahlung werden keine γ-Strahlen emittiert.

12. *Mg.* Durch die Untersuchungen von Delsasso u. a. (492) hat sich herausgestellt, daß die früher zu einigen Stunden angegebene Magnesiumaktivität auf das aktive Isotop ^{18}F mit der Halbwertszeit von ~ 107 min zurückzuführen ist und durch eine Verunreinigung an Sauerstoff hervorgerufen war. Die früher zu 20 min, jetzt zu 16 min angegebene Periode ist anscheinend ebenfalls einer Verunreinigung noch unbekannter Art zuzuschreiben.

Mit Protonen von 6 MeV konnte von White u. a. (490) eine neue Aktivität von 7,0 ± 0,5 sec beobachtet werden, die entweder ^{25}Al oder ^{26}Al zugeschrieben werden muß.

Gegen die Annahme von ^{26}Al als aktiven Bestandteil spricht allerdings, daß die obere Grenze des Positronenspektrums von ^{26}Al anderweitig zu 1,5 bzw. 1,8 MeV gemessen wurde, während das mit der Periode von 7 sec verbundene Positronenspektrum eine obere Grenze von 2,99 MeV hat.

13. *Al.* Aluminium weist nach den Untersuchungen von Kuerti u. a. (493) eine Aktivität von 3,7 sec auf, die zu ihrer Anregung eine sehr hohe Protonenenergie von mindestens 6 MeV erfordert.

Anzeichen für die mögliche ^{27}Si-Aktivität der Halbwertszeit von 6,5 min wurden nicht gefunden.

Entsprechend ihren Ergebnissen bei der Beschießung von Magnesium mit α-Teilchen hatten Bethe u. a. (629) die 6,5-min-Periode dem Isotop ^{29}Al zugeschrieben und deuten die hier beobachtete Periode von 3,7 sec durch das Isotop ^{27}Si.

14. *Si.* Nach früheren vergeblichen Versuchen konnte jetzt Barkas (489) mit Protonen von 5,8 MeV Silizium aktivieren. Er maß die Halbwertszeit zu 2,5 min und erklärt sie durch den Prozeß

$$^{30}Si(p, n)^{30}P.$$

24. *Cr.* Delsasso u. a. (492) berichten von einer Periode von etwa 108 min mit Positronenemission, die jedoch wahrscheinlich durch eine Verunreinigung mit Sauerstoff verursacht war.

Ferner fanden sie eine schwache Periode von einigen Tagen, die mit der von Hemmendinger (494) angegebenen Periode von 7,4 d identisch sein wird. Nach Hemmendinger ist diese Aktivität mit Positronen der oberen Energiegrenze von 0,77 MeV und einer γ-Strahlung von 1,0 MeV verbunden.

Mit Protonen von 6 MeV beobachtete Hemmendinger weiterhin die neue Aktivität von 21,3 min — obere Grenze des Positronenspektrums 2,2 MeV; γ-Strahlung 1,2 MeV.

Diese Perioden 7,4 d und 21,3 min werden beide dem Kern ^{52}Mn, der also isomer sein muß, zugeschrieben. Als Kernprozeß hätte zu gelten:

$$^{52}Cr(p, n)^{52}Mn.$$

Die schon früher bekannte Periode von etwa 40 min wurde jetzt nur von Delsasso u. a. (492) bestätigt und als ihr aktiver Bestandteil Mangan chemisch nachgewiesen. Als aktives Isotop wird neuerdings ^{51}Mn vermutet.

28. *Ni.* Von Nickel waren durch frühere Untersuchungen fünf Perioden bekannt. Delsasso u. a. (492) bestätigten:

1. Die auf ^{58}Cu zurückgeführte Periode von 81 ± 2 sec, wobei sie das aktive *Cu*-Isotop chemisch nachwiesen.
2. Die dem ^{60}Cu zugeschriebene Periode von 7,9 ± 0,5 min. Das aktive *Cu*-Isotop wurde ebenfalls sichergestellt.

Sie fanden jedoch:

3. Für die 10,5-min-Periode keine Anzeichen, während Strain (456) sie mit einergiereicheren Protonen beobachtete und ihre Entstehung den beiden Prozessen:

$$\left.\begin{array}{l} ^{61}Ni(p, \gamma)^{62}Cu \\ ^{62}Ni(p, n)^{62}Cu \end{array}\right\} {}^{62}Cu \rightarrow {}^{62}Ni + e^{+}.$$

zuschreibt.

Das Positronenspektrum hat eine obere Grenze von 2,8 ± 0,3 MeV.

Delsasso u. a. (492) und Strain (456) bestätigten:

4. Die Periode von 3,4 h.

Ihre Intensität war groß und ihr aktiver Bestandteil gemäß chemischer Versuche ein *Cu*-Isotop (492).

Es werden Positronen mit 0,9 MeV (492) bzw. 1,2 MeV (456) emittiert.

Nach Delsasso u. a. setzt diese Aktivität bei einer Protonenenergie von 1,8 MeV ein und ist bis zu einer solchen von 2,7 MeV durch den Prozeß

$$^{60}Ni(p, \gamma)^{61}Cu$$

verursacht. Überschreitet die Protonenenergie diesen Wert, so überwiegt der Prozeß

$$^{61}Ni(p, n)^{61}Cu.$$

5. Die Periode von 12,8 h. Als Umwandlungsprozeß tritt nur

$$^{64}Ni\,(p, n)\,^{64}Cu$$

auf.

Das aktive *Cu*-Isotop wurde chemisch nachgewiesen (492) und zerfällt unter Emission von Elektronen und Positronen im Verhältnis 1,5 : 1 (456). Die Grenzenergie der β-Teilchen wird zu 0,68 MeV (456), die der Positronen zu 0,7 MeV (492) angegeben.

Zur Anregung dieser Periode ist eine Protonenenergie von mindestens 2,1 MeV (492) erforderlich, während sich aus der Umwandlungsgleichung der Wert 2,5 MeV errechnet.

Die für die Perioden von 3,4 h und 10,5 min verantwortlichen aktiven Isotope ^{61}Cu bzw. ^{62}Cu können durch (n, γ)- und $(n, 2\,n)$-Prozesse entstehen. Strain (631) fand, daß sich der Anteil beider Prozesse an der jeweiligen Aktivität bei wachsender Energie der primären Neutronen zugunsten des zweiten Prozesses verschiebt.

29. *Cu*. Die neueren Ergebnisse über die Kupferaktivität betreffen die beiden bereits bekannten Perioden.

Strain (456) und Delsasso u. a. (492) bestimmten die Halbwertszeit der dem aktiven ^{63}Zn zugeordneten Periode zu $38{,}3 \pm 0{,}5$ min bzw. $38{,}5 \pm 0{,}8$ min in Einklang mit dem bisherigen Wert. Die obere Grenze des Positronenspektrums beträgt $2{,}3 \pm 0{,}15$ MeV (456) bzw. 1,8 MeV (492), die Mindestenergie der Protonen zur Erzeugung dieser Periode etwa 3,6 MeV (492).

Die Halbwertszeit der anderen Periode wurde von Strain (456) zu 235 ± 20 d ebenfalls in guter Übereinstimmung mit dem bisherigen Wert gemessen. Als Entstehungsprozeß ist, auch nach Livingood u. a. (495),

$$^{65}Cu\,(p, n)\,^{65}Zn$$

anzunehmen, wobei ^{65}Zn durch Positronenemission und durch Einfangen eines Elektrones der *K*-Schale zerfallen kann.

Obwohl nach seinen Messungen dieser Prozeß eine Protonenenergie von mindestens 4,1 MeV erfordern soll, konnten Delsasso u. a. (492) diese Periode an dem Kupferstück eines mit Protonen von 4 MeV betriebenen Zyklotrons finden und die beim Zerfall von ^{65}Zn vorliegenden Verhältnisse klären. Sie beobachteten die Emission von Positronen, Elektronen, γ- und Röntgenstrahlen. Die Positronen, deren Spektrum eine obere Grenze von 0,55 MeV hat, werden dem Zerfall des ^{65}Zn in ^{65}Cu zugeordnet. Die γ-Strahlung ist eine Kernstrahlung und mit dem Einfangen eines Elektrons verbunden. Ein Teil dieser γ-Strahlen löst aus den Atomschalen Elektronen aus, bei deren Auffüllung dann die beobachteten Röntgenstrahlen entstehen.

30. *Zn*. Buck (457) aktivierte Zink mit den sehr energiereichen Protonen von 6,5 MeV und stellte folgende Perioden fest:

1. $18{,}0 \pm 0{,}5$ min mit dem aktiven Isotop ^{70}Ga.
2. $48{,}0 \pm 2$ min mit dem aktiven Isotop ^{64}Ga.
3. 72 ± 4 min mit dem aktiven Isotop ^{68}Ga.
4. $9{,}4 \pm 0{,}2$ h mit dem aktiven Isotop ^{66}Ga.
5. $84{,}4 \pm 2$ h mit dem aktiven Isotop ^{67}Ga.

Die Perioden 1, 3 und 5 waren bereits früher bekannt. Die obigen Ergebnisse stehen im Einklang mit den bisherigen Werten.

34. *Se*. Bei Selen wurden alle bekannten Perioden von Buck (457) bestätigt. Im einzelnen zeigten sich die Perioden von:

1. $6{,}3 \pm 0{,}2$ min mit dem aktiven Isotop ^{78}Br.
2. $17{,}4 \pm 0{,}5$ min mit dem isomeren, aktiven Isotop ^{80}Br.
3. $4{,}4 \pm 0{,}3$ h mit dem isomeren, aktiven Isotop ^{80}Br.
4. 33 ± 1 h mit dem aktiven Isotop ^{82}Br.

Gegenüber Protonen von 6,3 MeV ist der Wirkungsquerschnitt des Kerns ^{79}Se für die Bildung des 17,4-min-Bromisomers $0{,}82 \cdot 10^{-25}\,cm^2$ und für die des 4,4-h-Bromisomers $0{,}22 \cdot 10^{-25}\,cm^2$. Während so bei dieser Protonenenergie von 6,3 MeV das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte etwa 4 ist, erhöht es sich auf über 200, wenn die Protonenenergie auf 3,2 MeV absinkt.

Von Valley u. a. (496) wurde die Elektronenemission untersucht. Es treten die Elektronengruppen von 21,5, 33,5 und 44 ekV auf.

Die Gruppe von 21,5 ekV gehört entweder zum Isotop ^{82}Br (33 h) oder mit größerer Wahrscheinlichkeit zum Isotop ^{80}Br (4,4 h), dem auch die beiden anderen Gruppen zuzuordnen sind.

In einer späteren eingehenden Arbeit (632) wurden die Elektronengruppen zu 23,6, 35,5 und 47,2 ekV gemessen, wobei die frühere Vermutung, daß sie zu dem 4,4-h-Zustand des isomeren ^{80}Br-Isotops gehören, bestätigt wurde. Die Elektronen entstehen durch die innere Umwandlung von γ-Strahlen, deren Energie aus der der Elektronengruppen zu errechnen ist.

Die Elektronengruppe von 23,6 ekV ist der Umwandlung einer γ-Strahlung von 37,1 ekV in der *K*-Schale oder derjenigen einer γ-Strahlung von 25,3 ekV in der *L*-Schale zuzuschreiben.

Die Gruppen von 35,5 und 47,2 ekV verdanken ihre Entstehung einer γ-Strahlung von 48,9 ekV, die in der *K*- bzw. *L*-Schale eine Umwandlung erleidet.

Zu dem 6,7 min-^{78}Br-Isotop gehören die Elektronengruppen von 32,7, 44,3, 95,5 und 105,4 ekV.

Die beiden ersten sind einer γ-Strahlung von 45,8 ekV, die beiden letzten einer solchen von 107,7 ekV zuzuschreiben. Die Gruppen von 32,7 und 95,5 ekV gehören zu der inneren Umwandlung in der K-Schale, diejenigen von 44,3 und 105,4 ekV zu einer solchen in der L-Schale des ^{78}Se-Isotops.

37. *Rb.* Mit Protonen von 6 MeV gelang Du Bridge u. a. (497) erstmalig die Aktivierung von Rubidium. Es zeigten sich die Perioden von:

1. $2{,}7 \pm 0{,}2$ h mit γ-Strahlen von 370 ekV. Ihre Ursache ist wahrscheinlich der metastabile Zustand des Isotops ^{87}Sr.

   Es ist wenig wahrscheinlich, daß dieser Kern $^{87}Sr^*$ durch den Zerfall des natürlich radioaktiven Isotops ^{87}Rb entsteht.
2. Ungefähr 60 d mit großer Intensität. Das aktive Isotop ist vermutlich ^{85}Sr.

38. *Sr.* Auch Strontium wurde von Du Bridge u. a. (497) erstmalig aktiviert. Es trat eine Periode von 85 ± 5 h mit einem chemisch-nachgewiesenen Y-Isotop, vermutlich ^{87}Y, auf. Aus ihr geht die schon bei Rb beobachtete Periode von 2,7 h hervor.

Die Verhältnisse werden folgendermaßen gedeutet:

$$\left.\begin{matrix} ^{86}Sr\,(p,\gamma)\,^{87}Y \\ ^{87}Sr\,(p,n)\,^{87}Y \end{matrix}\right\} \quad \begin{matrix} ^{87}Y + e^- \xrightarrow{85\,h} {}^{87}Sr^* \\ ^{87}Sr^* \xrightarrow{2,7\,h} {}^{87}Sr + \gamma\,. \end{matrix}$$

Neben einer γ-Strahlung von 370 ekV wurde eine Röntgenstrahlung, wahrscheinlich die von Sr, beobachtet.

42. *Mo.* Die bei Aktivierung von Molybdän vorliegenden Verhältnisse sind auch durch neuere Untersuchungen nicht geklärt worden.

Delsasso u. a. (492) beobachteten mit Protonen von etwa 4 MeV die Perioden von $36{,}5 \pm 5$ h, die mit Elektronenemission verbunden ist, $2{,}7 \pm 0{,}4$ h und 45 ± 5 min.

Dagegen berichten Ewing u. a. (498) von den Perioden von 53 ± 3 min und 110 ± 10 h, wobei die kürzere wahrscheinlich identisch mit der 45-min-Periode von Delsasso sein dürfte.

Beide Perioden sind mit einer γ-Strahlung verbunden. Die β-Teilchen haben eine obere Grenze von 2,3 MeV bei der kurzen und von 0,6 MeV bei der langen Periode. Chemische Untersuchungen deuten darauf hin, daß das aktive Isotop der langen Periode zum Element „Masurium" gehört.

Von den früheren Aktivitäten mit den Halbwertszeiten von 0,5 und 31 min wird nichts berichtet.

46. *Pd.* Enns (499) findet bei Palladium neben der bereits bekannten, mit Positronenemission verbundenen 25-min-Periode des Isotops ^{106}Ag auch die zweite mit K-Capture (Einfangen eines Elektrons der K-Schale) verbundene 8-d-Periode dieses isomeren Isotops.

In einer weiteren Arbeit (633) untersucht Enns eingehend die bei der Aktivierung vorliegenden Verhältnisse.

1. Die Mindestanregungsenergien für die 25-min- und 8-d-Perioden des isomeren Isotops ^{106}Ag liegen bei 3,8 bzw. 3,9 MeV, wobei die erstere mit dem oberen Grenzwert des Positronenspektrums übereinstimmt. Sie zeigen an, daß der Kernzustand der 8-d-Periode über dem der kürzeren Periode liegt.

   Die 8-d-Aktivität wird wahrscheinlich von drei γ-Strahlungen begleitet. Zwei von ihnen — bei 0,69 und 1,06 MeV — wurden gefunden.

   Da keine Positronen zu beobachten waren, ist zu schließen, daß das 8-d-^{106}Ag-Isotop eher durch K-Capture in ^{106}Pd als durch γ-Emission in den anderen isomeren Zustand übergeht.

   Die mit der 8-d-Periode verbundene Röntgenstrahlung wurde als die Pd-K_α-Strahlung festgestellt.

   Für die 25-min-Periode des Isotops ^{106}Ag wurde die Ausbeute zu $2{,}7 \cdot 10^{-6}$ akt. At/Proton gemessen.
2. Es wurde die bekannte, mit Elektronenemission verbundene 2,3-min-Periode des Isotops ^{108}Ag beobachtet, mit einer Ausbeute von $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ akt. At/Proton.
3. Dagegen wurde die aus anderen Versuchen bekannte 22-sec-Periode eines aktiven Ag-Isotops nicht gefunden.

Ferner wurden folgende neue Aktivitäten entdeckt:

4. 16,3 min mit Positronenemission gemäß:

   $$^{104}Pd\,(p,n)\,^{104}Ag$$

   und mit einer Ausbeute von $2{,}6 \cdot 10^{-6}$ akt. At/Proton.
5. 73 min, ebenfalls mit Positronen gemäß:

   $$^{102}Pd\,(p,n)\,^{102}Ag$$

   und einer Ausbeute von $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ akt. At/Proton.
6. 45 d mit K-Capture gemäß:

   $$^{105}Pd\,(p,n)\,^{105}Ag$$
   $$^{105}Ag + e^- \rightarrow {}^{105}Pd,$$

   wobei die Pd-K_α-Strahlung als Hinweis für die K-Capture nachgewiesen wurde.

Mit dieser Periode sind γ-Strahlen von 0,29, 0,42, 0,51 und 0,62 MeV verbunden.

47. *Ag*. In einer neueren Untersuchung bestätigten Delsasso u. a. (492) die bisherigen Kenntnisse von der Aktivität des Silbers.

Silber hat die Perioden von 7 oder 8 min und 6,7 h. Während erstere sehr schwach ist, ist letztere die stärkste Aktivität, die mit Protonen von 4 MeV überhaupt in irgendeinem Element erzeugt werden konnte. Ihr aktiver Bestandteil konnte mit Leichtigkeit als Kadmiumisotop festgestellt werden. Mit ihr ist die Emission energiearmer Elektronen verbunden, deren obere Grenze jetzt zu 90 ekV (früher 25 ekV) bestimmt wurde. Sie verlangt eine Mindestenergie der Protonen von 2,4 MeV.

Die Deutung dieser Periode stößt jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten. Aus den beiden stabilen *Ag*-Isotopen ^{107}Ag und ^{109}Ag können durch Protonen die *Cd*-Isotope 107, 108, 109 und 110 entstehen. Nimmt man an, daß die beobachteten Elektronen aus dem Kern stammen, so würden die genannten *Cd*-Isotope in *In*-Isotope derselben Masse übergehen, von denen jedoch keins als stabil bekannt ist.

Nimmt man dagegen an, daß die Elektronen durch einen sekundären Effekt entstehen, so wäre es denkbar, daß eins der an und für sich stabilen *Cd*-Isotope 108 und 110 im metastabilen Zustand entsteht und daß dieser unter Emission von γ-Strahlen mit der gefundenen Halbwertszeit zerfällt. Der Prozeß wäre also folgender:

$$^{107,\,109}Ag\ (p, \gamma)\ ^{108,\,110}Cd^*$$
$$^{108,\,110}Cd^* \rightarrow\ ^{108,\,110}Cd + \gamma\,.$$

Die γ-Strahlung würde dann zu der Elektronenemission führen.

Anderseits ist es möglich, daß eins der instabilen *Cd*-Isotope 107 oder 109 entsteht und daß dieses durch Einfangen eines Elektrons der *K*-Schale in die *Ag*-Isotope 107 oder 109 zerfällt. Dieser Prozeß sieht folgendermaßen aus:

$$^{107,\,109}Ag\ (p, n)\ ^{107,\,109}Cd$$
$$^{107,\,109}Cd + e^- \rightarrow\ ^{107,\,109}Ag\,.$$

Es spricht anscheinend zugunsten der letzteren Auffassung, daß neben einer sehr schwachen γ-Strahlung Anzeichen für die *K*-Strahlung des Silbers gefunden wurden.

Valley u. a. (632) untersuchten eingehend die mit der 6,4-h-Aktivität verbundene Elektronenemission. Sie fanden die Gruppen von 66,4, 89,6 und 91,5 ekV, die durch die innere Umwandlung einer γ-Strahlung von 92,6 ekV in der *K*-, *L*- bzw. *M*-Schale des *Ag*-Isotops entstehen.

Da die *K*- und *L*-Gruppen nahezu gleiche Intensität hatten, muß die innere Umwandlung in der *L*-Schale besonders groß sein.

Außerdem wurde eine γ-Strahlung von 530 ekV beobachtet, die, obwohl Positronen nicht auftraten, eventuell als Positronvernichtungsstrahlung anzusehen ist.

48. *Cd*. Die Aktivität des Kadmiums wurde von Barnes in mehreren Arbeiten (500, 501, 502) eingehend untersucht. Zwei der früher angegebenen Perioden (6 und 37 min) wurden nicht bestätigt. Im einzelnen liegen folgende Ergebnisse vor:

1. Periode von 72 sec (502) (früher 70 sec). Sie wird auf das als isomer bekannte Isotop ^{112}In zurückgeführt.
2. Periode von 18 min (501) bzw. 20 min (502). Sie ist mit Positronen von 2,15 MeV und γ-Strahlen von 0,16 MeV verbunden und wird dem Isotop ^{111}In zugeordnet (502).
3. Periode von 54 min (502) bzw. 55 min (501) mit Elektronenemission und dem aktiven Isotop ^{116}In. Der Entstehungsprozeß ist (502):

$$^{116}Cd\ (p, n)\ ^{116}In$$

und liefert eine γ-Strahlung von etwa 1 MeV (501).

4. Periode von 65 ± 5 min (502) mit Positronen von 1,6 MeV und dem aktiven Isotop ^{110}In. Als Kernprozeß hat

$$^{110}Cd\ (p, n)\ ^{110}In$$

zu gelten.

5. Periode von 105 ± 10 min (502), 128 min (früher) bzw. 2 h (501) mit einer γ-Strahlung von 0,39 MeV. Während sie früher (501) für identisch mit der bei Beschießung von Kadmium mit Deutonen auftretenden *In*-Periode von 2,3 h gehalten und folglich dem Isotop ^{117}In zugeschrieben wurde, wird sie jetzt (502) dem metastabilen Zustand des an und für sich stabilen *In*-Isotops 113 zugeordnet. Demnach ist der Entstehungsprozeß:

$$^{113}Cd\ (p, n)\ ^{113}In^*$$
$$^{113}In^* \rightarrow\ ^{113}In + \gamma\,.$$

6. Periode von 2,7 d (502) bzw. 4 d (501). Sie ist mit Elektronen von 1,73 MeV und γ-Strahlen von 0,168 und 0,253 MeV verbunden und wird auf das aktive Isotop ^{112}In zurückgeführt.
7. Periode von 48 d (501, 502) bzw. 50 d (500). Es werden Elektronen von 1,75 MeV und γ-Strahlen von 0,19 MeV emittiert. Das aktive Isotop ist ^{114}In und entsteht durch:

$$^{114}Cd\ (p, n)\ ^{114}In.$$

In allen Fällen wurden die aktiven *In*-Isotope chemisch nachgewiesen.

Für die 41-h-Periode der Indiumisotops $^{115}In^*$ fanden sich erwartungsgemäß keine Anzeichen, da dieses *In*-Isotop nicht durch Protonen aus Kadmium gebildet werden kann.

49. *In.* Für Indium liegen die eingehenden Untersuchungen von Barnes (500, 501, 502) vor. Schon früher schien die Aktivierbarkeit des Indiums durch die Beobachtung einer Periode von 14 min und später (501) von 18 min bewiesen zu sein. Es stellte sich jedoch jetzt heraus, daß diese Periode ebenso wie die von 50 min (501) durch Verunreinigungen verursacht waren.

Barnes (500, 501) fand eine neue Periode von 4 h mit Elektronenemission, als deren aktiver Bestandteil ein *In*-Isotop chemisch nachgewiesen wurde. Unter Berücksichtigung anderweitiger Ergebnisse muß geschlossen werden, daß diese Aktivität durch einen metastabilen Zustand des stabilen Kerns ^{115}In verursacht ist. Keiner der bisher bekannten Protonenprozesse kann jedoch zu diesem Isotop führen. Deshalb muß hier die Wirksamkeit eines (p, p)-Prozesses vorliegen:

$$^{115}In\ (p, p)\ ^{115}In^*.$$

Weiterhin fand sich die Periode von 105 d (502), die wahrscheinlich mit der vorher (501) zu 50 d angegebenen identisch ist. Es wurde chemisch ein aktives *Sn*-Isotop ermittelt, das durch *K*-Kapture in ^{113}In zerfällt.

Dieses *In*-Isotop entsteht jedoch im metastabilen Zustand und fällt selbst unter Emission von γ-Strahlen (0,39 MeV) in den Grundzustand mit der Halbwertszeit von 105 min. Es spielt sich also folgender Kernprozeß ab:

$$^{113}In\ (p, n)\ ^{113}Sn$$

$$^{113}Sn + e^- \rightarrow\ ^{113}In^*$$

$$^{113}In^* \rightarrow\ ^{113}In + \gamma\,.$$

51. *Sb.* Während bisher nur die Möglichkeit der Aktivierung von Antimon bekannt war, fanden Seaborg u. a. (503) eine mit Emission von energiearmen Elektronen verbundene Periode von etwa 120 d, deren aktives Isotop chemisch als *Te*-Isotop ermittelt wurde. Damit liegt wahrscheinlich der Prozeß vor:

$$^{121}Sb\ (p, n)^{121}Te$$

$$^{121}Te + e^- \rightarrow\ ^{121}Sb\,.$$

90. *Th.* Angeregt durch den neuartigen Effekt des Zerplatzens des Urankerns unter der Einwirkung von Neutronen suchten Roberts u. a. (504) nach der gleichen Erscheinung bei Thorium und Uran. Bei Verwendung von Protonen von 1 MeV verliefen die Versuche negativ.

IV. Künstliche Radioaktivität durch Deutonen

1. *H.* Alvarez u.a. (481) beobachteten eine lange Periode, dessen aktives Isotop die Eigenschaft des Wasserstoffes hat, und schreiben sie dem durch den Prozeß:

$$^{2}D\,(d, p)^{3}H$$

entstehenden Isotop ^{3}H zu.

3. *Li.* Heyn (458) und Curran u. a. (455) fanden bei Lithium eine dritte Periode von etwa 20 min bzw. 21 min, die sie in Übereinstimmung mit anderweitigen Ergebnissen durch den Prozeß:

$$^{11}B\,(d, n)\,^{11}C$$

erklären.

6. *C.* Die Halbwertszeit der durch das aktive Isotop ^{13}N bedingten Kohlenstoffaktivität wurde von Ward (663) zu $9{,}93 \pm 0{,}03$ min bestimmt; dieser Wert liegt niedriger als alle bisherigen.

Die begleitende γ-Strahlung beträgt nach den Messungen von Richardson (506) und von Watase u. a. (664) 280 bzw. 285 ekV.

Das Positronenspektrum hat nach Lyman (505) und Kikuchi u. a. (634, 635) die obere Grenze von 1,2 MeV. Bei Extrapolation gemäß der Konopinski-Uhlenbeckschen Theorie erhält ersterer einen um 25 Proz. größeren Wert.

Lyman (507) schließt aus dem Auftreten der γ-Strahlung, daß das β-Spektrum von ^{13}N aus zwei Teilspektren mit den oberen Grenzen von 1,2 und 0,92 MeV zusammengesetzt ist. Ein Positron des kleineren Spektrums wäre dann von der γ-Strahlung begleitet. Bei der Zerlegung des tatsächlichen Spektrums in zwei, der Fermischen Form entsprechende Teilspektren ergibt sich als Verhältnis der Zahl der γ-Quanten zu der der Positronen 0,25, während Lyman experimentell den Wert 0,20 ermittelt.

Kikuchi u. a. (634, 635) beobachten eine γ-Strahlung von 0,5 MeV und finden Anzeichen, daß das β-Spektrum komplex ist.

Pollard (628) sucht mit Deutonen von 3 MeV nach dem Prozeß:

$$^{13}C\,(d, p)\,^{14}C$$

mit dem aktiven Isotop ^{14}C.

Es treten auch Protonen auf, die durch diesen Prozeß gedeutet werden können.

Das Isotop ^{14}C wird wahrscheinlich eine Halbwertszeit von mehreren Jahren haben.

11. *Na.* Lawson (508) untersucht das β-Spektrum der auf das ^{24}Na-Isotop zurückgehenden Natriumaktivität und fand als seine obere Grenze den Wert 1,4 MeV.

15. *P.* Desgleichen ermittelte Lawson (508) bei der durch ^{32}P bedingten Phosphoraktivität die obere Grenze des β-Spektrums zu 1,72 MeV.

Ein außerordentlich interessanter Versuch wurde von Wilson und Kamen (459) durchgeführt. Sie brachten die zu aktivierenden Proben in das Zyklotron hinein, wo Ionenströme von vielen hundert Mikroampere auftreten und konnten so erheblich stärkere Aktivitäten erzielen.

Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen: Bei der bisherigen Bestrahlungsweise außerhalb des Zyklotrons sind bei einer Deutonenenergie von 8 MeV und einem Deutonenstrom von 60 μA 35 μA-Stunden erforderlich, um in Phosphor durch das aktive Isotop ^{32}P eine Aktivität von 1 Milli-Curie zu erzeugen. Da für therapeutische Zwecke etwa 20 mC ausreichen, wären also 700 μA-Stunden notwendig. Um den Ionenstrom voll auszunützen, waren etwa 2000 mg Phosphor erforderlich; das heißt, es ergibt sich 1 mC pro 100 mg.

Bei der neuen Bestrahlungsweise konnte in 24 h und in 40 mg Phosphor eine Aktivität von 10 mC erzeugt werden. Bei einer Bestrahlung über einige Tage wird sich der Wert von 1 mC pro 1 mg ergeben, also 100mal mehr als bisher.

17. *Cl.* Die Halbwertszeit der Chloraktivität wurde von Watase u. a. (509) übereinstimmend mit früheren Ergebnissen zu 37,3 ± 0,3 min gemessen und das aktive Isotop als Chlorisotop chemisch festgestellt.

Das β-Spektrum läßt sich, wie bereits früher geschehen, in zwei Teilspektren mit den oberen Grenzen von 1,08 und 4,99 MeV zerlegen. Sollten diese zu verschiedenen aktiven *Cl*-Isotopen gehören, so liegen deren Zerfallszeiten um weniger als 1 min auseinander. Es ist jedoch wahrscheinlicher, daß sie ein und demselben Isotop angehören.

Grahame (460) untersuchte die Chloraktivität auf eine Periode von mehr als 200 Jahren hin, konnte jedoch für sie keine Anzeichen finden.

21. *Sc.* Nach den neueren Messungen von Walke u. a. (510) hat die Skandiumaktivität die Halbwertszeit von 85 ± 1 d. Sie wird von energiearmen Elektronen — obere Grenze etwa 0,26 MeV — und der γ-Strahlung von 0,95 MeV begleitet.

Als Kernprozeß hat

$$^{45}Sc\,(d,\,p)\,^{46}Sc$$

zu gelten, wobei ^{46}Sc durch *K*-Capture in ^{46}Ti zerfällt. Positronen, die auf den Zerfall $^{46}Si \rightarrow {}^{46}Ca$ hindeuten würden, wurden nicht gefunden.

Die energiearmen Elektronen entstehen sekundär durch die *K*-Capture.

Nach Davidson (636) bilden die Protonen zwei Gruppen von 65,5 und 104,5 cm Reichweite.

22. *Ti.* Bei Titan war eine Reihe von Perioden sichergestellt. Die neuere Arbeit von Walke u. a. (510) befaßt sich mit einigen von ihnen.

Das aktive Isotop ^{48}V der 16-d-Periode kann sich durch Einfangen eines Elektrons ebenso wie durch Emission eines Positrons umwandeln. Das Verzweigungsverhältnis beträgt 0,40 ± 0,15.

Die früher zu 85 d angegebene und dem Isotop ^{46}Sc zugeordnete Periode wird berichtigt. Die Halbwertszeit beträgt 72 ± 2 d. Das aktive Isotop gehört zu Titan und wird in ^{51}Ti vermutet. Damit ist diese Periode isomer zu der bekannten von 2,8 min. Wahrscheinlich gehört die kürzere Periode zu dem metastabilen Zustand, die längere zu dem Grundzustand dieses Isotops. Der aus ^{51}Ti durch Elektronenemission — obere Grenze etwa 0,36 MeV — gebildete Kern ^{51}V entsteht im angeregten Zustand, was zur Emission der beobachteten Strahlung von etwa 1 MeV führt.

Die früher gefundene lange Periode wird zu 600 ± 50 d gemessen. Das aktive Isotop zerfällt fast ausschließlich durch Einfang eines Elektrons und ist wahrscheinlich entweder ^{47}V oder das isomere ^{49}V.

Bei Titan war eine Röntgenstrahlung beobachtet worden. Das aktive Isotop, das für sie verantwortlich zu machen ist, ist gemäß chemischer Untersuchungen ein Vanadiumisotop, während die Strahlung die *K*-Strahlung des Titans ist.

23. *V.* Bei Vanadium treten nach Davidson (636) in dem bekannten, radioaktiven Prozeß

$$^{51}V\,(d,\,p)\,^{52}V$$

Protonengruppen von 46, 80 und 127,5 cm Reichweite auf.

25. *Mn.* Bei Mangan bilden die Protonen des Prozesses

$$^{55}Mn\,(d,\,p)\,^{56}Mn$$

Gruppen von 50,5, 69 und 103 cm Reichweite (636).

26. *Fe.* Auch durch neuere Untersuchungen sind die bei der Aktivierung von Eisen vorliegenden Verhältnisse keineswegs geklärt worden.

Von der 18-h-*Co*-Periode berichtet Lawson (508), daß das β-Spektrum eine obere Grenze von 1,5 MeV hat, Curtis (511), daß die Vernichtungsstrahlung von 0,5 MeV, eine starke γ-Strahlung von 0,8 MeV und eine schwache von 1,2 MeV mit den relativen Intensitäten 1 : 0,5 : 0,1 auftritt und Cork u. a. (512), daß die Anregungskurve bei einer Deutonenenergie von 7 MeV eine Sättigung erreicht.

Livingood u. a. (513) fanden:

1. Die Periode von 9 min des aktiven Isotops ^{53}Fe.
2. Die bekannte Periode von 47 d des aktiven Isotops ^{59}Fe und
3. eine schwache und lange Periode (mehr als 1 Jahr, wahrscheinlich 10 Jahre) mit einem chemisch als Eisen nachgewiesenen aktiven Bestandteil.

Als Prozeß wird

$$^{54}Fe(d,p)^{55}Fe \quad ^{55}Fe \rightarrow {^{55}Mn} + e^+$$

angenommen.

Wilson u. a. (459) konnten dadurch, daß sie die Eisenprobe 24 h lang innerhalb des Zyklotrons der Einwirkung der Deutonen aussetzten — siehe (15 · $P + D$) — in 40 mg eine Aktivität von 10 mC erzielen. Bei Bestrahlung außerhalb des Zyklotrons ergaben sich 3 mC in 90 mg Eisen.

29. *Cu.* Neuere Untersuchungen brachten Beiträge zu drei bereits bekannten Kupferaktivitäten:

1. Die Halbwertszeit der früheren 6-min-Periode wurde von Sagane (514) zu 5 min gemessen. Ihre Intensität war sehr gering.
2. Die Periode von 12,8 h wurde von Sagane (514) und Tyler (515, 516) bestätigt. Ihre Intensität war sehr stark (514). Die oberen Grenzen des Elektronen- und Positronenspektrums des diese Periode verursachenden Isotops ^{64}Cu sind nach Tyler (515, 516) 0,578 MeV bzw. 0,659 MeV, nach Sinma u.a. (472) 0,70 bzw. 0,71 MeV, abweichend von den bisherigen Daten. Anzeichen für eine γ-Strahlung waren nicht vorhanden (515, 516).

   In den beiden zu den Perioden von 5 min und 12,8 h führenden Prozessen

   $$^{63,\,65}Cu(d,p)^{64,\,66}Cu$$

   bilden die Protonen Gruppen von 52,5; 66,5; 87,5 und 99,5 cm Reichweite.

   Die Gruppe von 87,5 cm gehört allein zu dem 12,8-h-^{64}Cu-Isotop, diejenige von 99,5 cm zu dem 5-min-^{66}Cu-Isotop.
3. Die früher zu 130 d angegebene Periode hat nach Livingood u. a. (495) den richtigeren Wert von 222 d in Übereinstimmung mit Sagane (514), der sie bei der Untersuchung des Kupferteiles eines Zyklotrons fand, sie chemisch auf ein aktives Zn-Isotop zurückführte und zu 210 d bestimmte.

   Der Umwandlungsprozeß ist

   $$^{63}Cu(d,\gamma)^{65}Zn \ (514)$$

   und zusätzlich

   $$^{63}Cu(d,2n)^{65}Zn \ (495)$$

   $$^{65}Zn \rightarrow {^{65}Cu} + e^+$$

   $$^{65}Zn + e \rightarrow {^{65}Cu}.$$

30. *Zn.* Livingood u. a. (495) geben auf Grund weiterer Versuche eine andere Deutung ihrer früheren Ergebnisse.

1. Die 97-h-Periode ist, auch nach Alvarez (461), dem Isotop ^{67}Ga mit dem Umwandlungsprozeß

   $$^{66}Zn(d,n)^{67}Ga \quad ^{67}Ga + e \rightarrow {^{67}Zn}$$

   zuzuordnen.

   Die Annahme, daß sich ^{67}Ga durch K-Capture umwandelt, wird auch von Abelson (537) durch Nachweis einer Zink-Röntgenstrahlung bewiesen.
2. Die Beobachtung der 25-h-Periode ist wahrscheinlich auf eine Täuschung zurückzuführen.
3. Ebenso konnte die früher gefundene Periode von 30 d nicht bestätigt werden.
4. Die frühere 12-h-Periode ist möglicherweise identisch mit der 12,8-h-^{64}Cu-Periode, wahrscheinlicher jedoch identisch mit der jetzt auch von Valley u. a. (632) beobachteten Periode von 13,8 h. Diese neue Periode ist mit Elektronen von 1,1 MeV und einer γ-Strahlung von 0,4 MeV verbunden (495). Ihr aktiver Bestandteil ist chemischen Untersuchungen entsprechend ein Zn-Isotop (495) (632).
5. Die frühere 1-h-Periode ist entweder identisch mit der 66-min-^{68}Ga-Periode oder mit der jetzt beobachteten Periode von 57 bzw. 59 min (632). In letzterer werden Elektronen von 1 MeV (495) und nach Kennedy u. a. (637), aber keine γ-Strahlen emittiert (495). Letztere finden jedoch γ-Strahlen von 0,47 MeV. Ihr aktives Isotop ist ein chemisch nachgewiesenes Zn-Isotop (495) (632).

Für die Erklärung der beiden Aktivitäten von 57 min und 13,8 h kommen nur die aktiven Zn-Isotope 69 und 71 in Betracht, die aus den stabilen Zn-Isotopen 68 und 70 gebildet werden würden. Da letztere mit ihren Häufigkeiten von 17,8 bzw. 0,4 Proz. in einem Verhältnis von 44,5 : 1 stehen, das Intensitätsverhältnis der beiden Perioden nach unendlich langer Bestrahlungszeit aber nur 2 beträgt, können die Perioden nicht durch zwei verschiedene aktive Isotope bedingt sein. Vielmehr müssen sie isomer sein und entweder zu Zn (69) oder zu Zn (71) gehören. Die Ergebnisse bei Beschießung von Gallium mit Deutonen zeigen, daß es nur Zn (69) sein kann (495).

Der Entstehungsprozeß für die beiden Perioden ist also:

$$^{68}Zn(d, p)^{69}Zn$$

$$^{69}Zn \rightarrow {}^{69}Ga + e^-.$$

Kennedy u. a. (637) untersuchen das isomere Isotop ^{69}Zn recht eingehend. Sie finden, daß die β-Spektren beider Perioden einander gleich sind und schließen daraus und aus der Beobachtung, daß bei der 13,8-h-Periode keine β-γ-Koinzidenzen auftreten, daß das 13,8-h-Isotop ein reiner γ-Strahler ist.

Es entfällt 1 γ-Quant auf 1 Elektron, was darauf hindeutet, daß der Koeffizient der inneren Umwandlung der γ-Strahlung kleiner als 0,1 ist.

Zwischen den beiden isomeren Zuständen des Isotops ^{69}Zn besteht ein Spinunterschied von 5.

6. Es steht jetzt mit ziemlicher Sicherheit fest, daß die 7-mo-Periode, deren Halbwertszeit von Valley u. a. (632) zu 245 d angegeben wird, durch den Prozeß

$$^{64}Zn(d, p)^{65}Zn$$

$$^{65}Zn \rightarrow {}^{65}Cu + e^+$$

$$^{65}Zn + e^- \rightarrow {}^{65}Cu$$

gedeutet werden muß. Ein aktives Zn-Isotop wurde chemisch nachgewiesen (632).

Valley u. a. (632) fanden außerdem drei weitere Perioden, deren aktive Bestandteile chemisch als Gallium sichergestellt wurden.

7. Mit der Halbwertszeit von 18,5 min. Als aktives Isotop ist ^{70}Ga anzusehen.

   Die Elektronen bilden zwei Gruppen von 43,8 und 52,7 cm Reichweite. Sie verdanken ihre Entstehung einer γ-Strahlung von 53,8 ekV, die sich in der K- bzw. L-Schale des ^{70}Zn-Kerns umwandelt.

   Außerdem tritt eine Gruppe von 107,1 ekV auf, die auf eine γ-Strahlung von 117,0 ekV hindeutet.
8. Mit der Halbwertszeit von 69,5 min und dem aktiven Isotop ^{68}Ga, und
9. Mit der Halbwertszeit von 78 h. Die Elektronen dieser, dem Isotop ^{67}Ga zugeordneten Aktivität bilden zwei Gruppen, entstanden durch die innere Umwandlung einer γ-Strahlung von 92,5 ekV in der K- bzw. L-Schale des ^{67}Zn-Isotops.

31. *Ga.* Livingood u. a. (495) finden bei Bestrahlung von Gallium mit Deutonen von 8 MeV:

1. Die bereits bekannte Periode von 13,8 h — früher zu 14 h — angegeben mit einem chemisch nachgewiesenen Zn-Isotop, mit Emission von Elektronen von 1,1 MeV und γ-Strahlen von 0,4 MeV. Sie ist nicht identisch mit der 14-h-^{72}Ga-Periode.
2. Die neue Periode von 57 min mit einem ebenfalls chemisch festgestellten aktiven Zn-Isotop. Es werden Elektronen von 1 MeV, aber keine γ-Strahlen emittiert.

Da außer ^{69}Zn kein anderes Elektronen emittierendes Isotop entstehen kann, müssen beide Perioden in Einklang mit den Ergebnissen bei Zink isomer sein und diesem Isotop zugeschrieben werden.

Der Kernprozeß ist damit folgender:

$$^{71}Ga(d, \alpha)^{69}Zn$$

$$^{69}Zn \rightarrow {}^{69}Ga + e^-.$$

Das Intensitätsverhältnis beider Perioden ist, für unendlich lange Bestrahlungsdauer extrapoliert, gleich 2.

32. *Ge.* Nach den weiteren Arbeiten von Sagane u. a. (514, 517) liegen bei Germanium folgende Verhältnisse vor:

1. Die Periode von 80 min ist wahrscheinlich auf das aktive Isotop ^{75}Ge zurückzuführen (514).
2. Die mit Positronen und γ-Strahlen verbundene Periode von 88 ± 5 min ist auf Grund chemischer Untersuchungen einem As-Isotop, wahrscheinlich ^{73}As zuzuordnen (514, 517).
3. Die Periode von 12 h ist entweder identisch mit der 8-h-Periode von ^{77}Ge oder durch eine Verunreinigung an Natrium verursacht (514).
4. Die von energiearmen Positronen und γ-Strahlen begleitete Periode von 50 ± 5 h ist chemischen Ergebnissen entsprechend durch ein As-Isotop, wahrscheinlich durch ^{71}As bedingt.
5. Die Periode von 16 d — früher zu 17 d angegeben — ist mit Positronen von 0,9 MeV und Elektronen von 1,3 MeV verbunden. Das aktive Isotop ist als As-Isotop chemisch nachgewiesen und in ^{74}As zu vermuten (514, 517). Der Umwandlungsprozeß wäre damit:

$$^{73}Ge(d, n)^{74}As.$$

6. Die Periode von 90 ± 10 d (517) — früher und auch noch in einer späteren Arbeit (514) zu 50 bzw. 55 d angegeben —, ist auf ein chemisch nachgewiesenes As-Isotop, wahrscheinlich ^{77}As zurückzuführen. Es werden Elektronen von etwa 0,12 MeV und γ-Strahlen emittiert. Der Umwandlungsprozeß ist:

$$^{76}Ge(d, n)^{77}As.$$

33. *As.* Sagane u. a. (517) bestätigten die bekannte Arsenperiode von 26 h und wiesen als aktiven Bestandteil Arsen chemisch nach. Als Umwandlungsprozeß muß

$$^{75}As(d, p)^{76}As$$

$$^{76}As \rightarrow {}^{76}Se + e^-$$

angesehen werden.

Die Elektronen bilden zwei Spektren mit den oberen Grenzen von 1,31 und 2,75 MeV. Außerdem werden γ-Strahlen von 0,5 und 1,5 MeV emittiert.

38. *Sr.* Die Aktivität des Strontiums war Gegenstand weiterer Untersuchungen von Stewart (518, 519), deren Ergebnisse sich im wesentlichen mit den früheren Daten decken. Im einzelnen ergab sich folgendes:

1. Die Periode von $2{,}0 \pm 0{,}2$ h ist durch ein aktives *Y*-Isotop verursacht und von Elektronen begleitet (519).
2. Die neue Periode von 14 ± 2 h ist ebenfalls durch ein aktives *Y*-Isotop bedingt und mit Elektronenemission verbunden (519). Diese beiden Perioden sind, abweichend von der früheren Vermutung, entweder den aktiven *Y*-Isotopen (85) und (87) oder einer isomeren Form eines der beiden Isotope zuzuschreiben; wahrscheinlich liegt eine Isomerie des Kerns ^{87}Y vor.
3. Die neue Periode von 82 ± 4 h, die keineswegs mit der bekannten 60-h-Periode identisch ist, zeigt eine Positronenemission (519).
4. Die Periode von 3 h ist von Elektronen von 0,6 MeV und γ-Strahlen von 0,55 und 1,1 MeV im Verhältnis 5 : 1 begleitet (518, 519).
5. Die Periode von 55 d ist mit Elektronen von 1,5 MeV, aber keinen γ-Strahlen verbunden (518, 519).

Die beiden letzteren Perioden sind isomer und gehören zu dem aktiven Isotop ^{89}Sr. Die kürzere Periode entspricht seinem metastabilen Zustand, die längere seinem Grundzustand.

42. *Mo.* Zur Vervollständigung ist die Arbeit von Cacciapuoti u. a. (359f, 473) nachzutragen, in der ebenfalls von der Auffindung der Molybdänperioden von 50; 80 und 90 d mit aktiven *Ma*-Isotopen berichtet wird.

Cacciapuoti (520) bestätigte später die 90-d-Periode und gibt eine weitere mit γ-Strahlen verbundene Periode von 62 d an.

Seaborg u. a. (521) untersuchten die bereits bekannten Perioden von 67 ± 2 h und 6,6 h. Letztere ist mit γ-Strahlen von 180 ekV verbunden. Chemisch wurden ein aktives *Mo*-Isotop – wahrscheinlich ^{99}Mo oder ^{101}Mo – bzw. ein aktives *Ma*-Isotop nachgewiesen. Es war bereits früher bekannt, daß das *Ma*-Isotop aus dem *Mo*-Isotop hervorgeht. Durch die neuen Versuchsergebnisse ergibt sich folgendes Bild:

$$^{98,100}Mo(d, p)^{99,101}Mo$$

$$^{99,101}Mo \xrightarrow{67\,h} {}^{99,101}Ma^* + e^-$$

$$^{99,101}Ma^* \xrightarrow{6{,}6\,h} {}^{99,101}Ma + \gamma\,.$$

Die bei der *Ma*-Periode beobachteten Elektronen von 116 ekV bilden kein kontinuierliches Spektrum, stammen also nicht aus dem Kern. Sie sind der inneren Umwandlung einer Kern-γ-Strahlung von 136 ekV zuzuschreiben. Das aktive *Ma*-Isotop ist also aus dem *Mo*-Isotop im metastabilen Zustand entstanden und zerfällt unter Emission von γ-Strahlen in den entweder stabilen oder sehr langlebigen Grundzustand. Für diese Deutung spricht der Umstand, daß die K_α-Strahlung des Elementes Masurium auftritt.

Segrè (359i) benutzte die aktiven *Ma*-Isotope einer mehrere Monate lang bestrahlten *Mo*-Folie, um die chemischen Eigenschaften des Elements „Masururium" zu untersuchen. Er fand so beispielsweise, daß es dem Rhenium sehr ähnlich ist, aber von ihm durch Destillation in einem Strom feuchter Chlorwasserstoffsäure getrennt werden kann.

48. *Cd.* Bei Kadmium war früher festgestellt worden, daß ein *In*-Isotop von 2,3 h aus einem *Cd*-Isotop von 58 h hervorgeht. Goldhaber u. a. (522) halten diese Zuordnung nicht für richtig.

Cork u. a. (523) wiesen chemisch vier aktive *Cd*-Isotope und wenigstens acht aktive *In*-Isotope nach und fanden, daß sogar zwei aktive *In*-Isotope aus *Cd*-Isotopen entstehen. In einer späteren Arbeit (524) bringen sie nähere Einzelheiten. Demnach ist:

1. Die hier zu 56 h gemessene *Cd*-Periode mit Elektronen von 1,11 MeV und γ-Strahlen von 0,8 MeV verbunden und dem Isotop ^{115}Cd – früher ^{117}Cd – zuzuschreiben. Das Isotop geht über in das im metastabilen Zustand verbleibende Isotop $^{115}In^*$, das unter Emission von γ-Strahlen von 0,336 MeV mit der Halbwertszeit von 4,5 h – früher 2,3 h – in den Grundzustand zerfällt:

$$^{114}Cd(d, p)^{115}Cd$$

$$^{115}Cd \xrightarrow{56\,h} {}^{115}In^* + e^-$$

$$^{115}In^* \xrightarrow{4{,}5\,h} {}^{115}In + \gamma\,.$$

2. Die dem aktiven Isotop ^{117}Cd zugeordnete Periode von 3,75 h geht in das aktive *In*-Isotop ^{117}In über, das seinerseits unter Emission von Elektronen von 1,73 MeV und γ-Strahlen von 0,388 MeV mit der Halbwertszeit von 2,1 h zerfällt.

$$^{116}Cd\,(d\,,\,p)\,^{117}Cd$$

$$^{117}Cd \xrightarrow{3{,}75\,h} {}^{117}In + e^-$$

$$^{117}In \xrightarrow{2{,}1\,h} {}^{117}Sn + e^- .$$

Ferner berichten sie

3. von einer mit Elektronenemission verbundenen Periode von 40 d, die entweder durch ^{115}Cd oder ^{117}Cd bedingt ist, und
4. von einer Periode von weniger als 3 min, wahrscheinlich mit einem aktiven *Cd*-Isotop.

49. *In*. Bei Indium wurden von Cork u. a. (524) die drei bisher bekannten Perioden von 13 sec, 54 min und 4,1 h bestätigt und weitere Perioden aufgedeckt. Es liegen folgende Verhältnisse vor:

1. Eine mit Positronenemission verbundene Periode von 20 min. Die obere Grenze der Positronen ist 2,15 MeV, das aktive Isotop ^{111}In.
2. Eine Periode von 72 sec mit dem aktiven Isotop ^{112}In.
3. Eine mit Elektronenemission verbundene Periode von 56 d. Die obere Grenze der Elektronen ist 1,75 MeV, das aktive Isotop ^{114}In.
4. Eine Periode von 4,5 h, die durch das im metastabilen Zustand befindliche Isotop $^{115}In^*$ verursacht wird. Es werden γ-Strahlen von 0,336 MeV emittiert.
5. Eine Periode von 65 h, die auf das im metastabilen Zustand befindliche Isotop $^{113}In^*$ zurückgeht. Es treten γ-Strahlen von 0,17 und 0,245 MeV auf.
6. Eine mit Elektronen von 2,8 MeV verbundene Periode von 13 sec.
7. Eine ebenfalls von Elektronen begleitete Periode von 54 min. Die Elektronen haben eine obere Grenze von 0,85 MeV. Es werden γ-Strahlen von 1,0; 1,3 und 1,8 MeV emittiert. Die beiden letzten Perioden sind isomer und gehören zum Isotop ^{116}In.
8. Eine wahrscheinlich durch ein *In*-Isotop hervorgerufene Periode von mehreren Tagen.

50. *Sn*. Auch durch die neueren Untersuchungen von Livingood u. a. (485, 525) konnten die bei der Aktivierung von Zinn vorliegenden Verhältnisse keineswegs geklärt werden.

Bei zwei bereits bekannten Perioden — 13 sec und 112 d — hat sich herausgestellt, daß sie durch Verunreinigungen verursacht waren (525).

Weiterhin werden von ihnen (525) folgende Perioden angegeben:

1. Von 17 min, entstanden durch den Prozeß
$$^{119}Sn\,(d\,,\,n)\,^{120}Sb\ .$$
2. Von 2,5 d, entstanden entweder durch
$$^{122}Sn\,(d\,,\,2\,n)\,^{122}Sb$$
oder
$$^{120}Sn\,(d\,,\,\gamma)\,^{122}Sb\ .$$
3. Von 3 h und
4. von 45 d.

In einer späteren Arbeit (485) berichten sie von den mit Elektronenemission verbundenen Perioden von:

1. 9 min mit dem aktiven Isotop ^{125}Sn.
2. 40 min.
3. 26 h.
4. 10 d.
5. 70 d mit dem aktiven Isotop ^{113}Sn, das möglicherweise durch *K*-Kapture in ^{113}In übergeht.
6. Mehr als 400 d, wo die Art der emittierten β-Teilchen nicht festgestellt wurde.

51. *Sb*. Seaborg u. a. (503) beobachteten bei Antimon eine neue Periode von etwa 120 d, deren aktiver Bestandteil chemisch als *Te*-Isotop festgestellt wurde. Es wurden energiearme Elektronen emittiert. Wahrscheinlich liegt folgender Prozeß vor:

$$^{121}Sb\,(d\,,\,2\,n)\,^{121}Te$$

$$^{121}Te + e^- \rightarrow {}^{121}Sb.$$

52. *Te*. Die Aktivität des Tellurs war Gegenstand mehrerer eingehender Untersuchungen, deren Ergebnisse sich im wesentlichen mit denen früherer Arbeiten decken.

1. Es war bekannt, daß das aktive Jodisotop der 8-d-Periode direkt aus einem stabilen *Te*-Isotop und auch aus einem instabilen *Te*-Isotop entstand. Als Umwandlungsprozeß war also anzunehmen:

$$^{128,\,130}Te\,(d\,,\,n)\,^{129,\,131}J$$

$$^{129,\,131}J \xrightarrow{8\,d} {}^{129,\,131}Xe + e^-$$

$$^{128,\,130}Te\,(d\,,\,p)\,^{129,\,131}Te$$

$$^{129,\,131}Te \longrightarrow {}^{129,\,131}J + e^-$$

$$^{129,\,131}J \xrightarrow{8\,d} {}^{129,\,131}Xe + e^- .$$

Livingood u. a. (454) fanden nun, daß die 8-d-*J*-Periode von einer 1,2-d-*Te*-Periode und auch von einer kürzeren *Te*-Periode – 1 h – abstammt. Sie schließen daraus, daß das Isotop $^{129,\,131}Te$ isomer ist und mit den genannten Halbwertszeiten zerfallen kann.

Mit dieser Deutung würde die Vermutung von Abelson (527) übereinstimmen, daß die von ihm beobachtete 70-min-Periode zu dem Isotop ^{129}Te gehört. Ein aktives *Te*-Isotop von 66 min war auch schon früher gefunden worden.

Tape (638) weist als aktives Isotop der 8-d-Periode, deren Halbwertszeit er zu $8{,}2 \pm 0{,}3$ d bestimmt, ein Jodisotop chemisch nach und vermutet ebenfalls ^{131}J.

Die in dieser Aktivität emittierten Elektronen haben ein Spektrum mit der oberen Grenze von:

1,24 MeV nach Livingood u. a. (454)
0,74 MeV nach Tape (526)
0,687 MeV nach Tape (638) und ebenso bei Extrapolation nach Fermi
0,78 MeV nach Tape (638) bei Extrapolation gemäß der K.-U.-Theorie.

Außerdem tritt eine γ-Strahlung von 0,4 MeV (454) bzw. von 0,27 und 0,46 MeV (638) auf.

Die Ausbeute betrug $2 \cdot 10^{-7}$ aktive At/Deuton (454).

2. Die von Livingood u. a. (454) angegebene Periode von 25 ± 1 min war bisher unbekannt. Sie ist mit Elektronen von 2,2 MeV und γ-Strahlen von 0,4 MeV verbunden und wird durch den Prozeß

$$^{128}Te\,(d,\,2\,n)\,^{128}J$$

erklärt.

Die Ausbeute betrug $5 \cdot 10^{-8}$ aktive At/Deuton.

Die 25-min-Periode eines chemisch nachweisbaren Jodisotops, wahrscheinlich des ^{128}J, wird von Tape (638) bestätigt. Die obere Grenze des β-Spektrums beträgt:

2,44 MeV
2,20 MeV bei Extrapolation nach Fermi
2,94 MeV bei Extrapolation nach K.-U.

3. Ebenfalls bisher unbekannt war die von Livingood beobachtete Periode von $13{,}0 \pm 0{,}3$ d gemäß

$$^{125}Te\,(d,\,2\,n)\,^{126}J\,.$$

In den früheren Arbeiten waren zwei Perioden von 10 h und 13 h gefunden worden, deren aktive Bestandteile sich chemisch verschieden verhielten. Auch in den neueren Untersuchungen traten diese Perioden auf.

4. Abelson (527) beobachtete die Periode von 10 h und ordnete sie dem Isotop ^{127}Te zu.
5. Livingood u. a. (454) und Tape (638) fanden die Periode von $12{,}6 \pm 1$ h bzw. $12{,}5 \pm 0{,}5$ h und deuten sie durch den Prozeß:

$$^{130}Te\,(d,\,2\,n)\,^{130}J\,.$$

Das Elektronenspektrum hat eine obere Grenze von

0,83 MeV nach Tape (638)
1,05 MeV nach Tape (638) bei Extrapolation gemäß K.-U. und nach Livingood (454).

Außerdem trat eine γ-Strahlung von 0,6 MeV auf (454) (638).

Die Ausbeute dieser Aktivität wurde zu $1 \cdot 10^{-7}$ aktive At/Deuton gemessen (454).

Die von Segré u. a. (543) angegebene Methode zur Trennung isomerer Isotope wurde von Seaborg u. a. (503) auf Tellur angewendet und lieferte folgende neuartigen Ergebnisse:

1. Die Perioden von 10 h und 90 d sind isomer und gehören zu ^{127}Te.
2. Die Perioden von 25 min und 1,2 d sind isomer und durch ^{131}Te verursacht.
3. Die Perioden von 70 min und 30 d sind isomer und dem Isotop ^{129}Te zuzuschreiben.

In allen Fällen geht die kurzlebige Periode aus der langlebigeren hervor.

63. *Eu.* Europium wurde erstmalig von Fajans u. a. (528) mit Deutonen von 6–7 MeV aktiviert. Es traten die Perioden von

1. $9{,}4 \pm 0{,}2$ h mit dem aktiven Isotop ^{152}Eu,
2. 105 ± 5 min und
3. 12 ± 4 min

auf.

In allen drei Fällen wurden aktive *Eu*-Isotope chemisch nachgewiesen.

V. Künstliche Radioaktivität durch Neutronen

4. *Be.* Bjerge u. a. (474) fanden bei Beryllium den bekannten Prozeß:

$$^{9}Be\,(n,\,\alpha)\,^{6}He$$
$$^{6}He \rightarrow {}^{6}Li + e^{-}$$

mit der Halbwertszeit von $0{,}8 \pm 0{,}1$ sec.

5. *B.* Bei Bestrahlung von Bor mit schnellen Neutronen beobachtete Heyn (458) die bisher unbekannte, schwache Periode von 2,5 min.

Lawrance (639) fand bei schnellen Neutronen ein radioaktives Element, das schwere Teilchen emittiert, mit der Halbwertszeit von $0{,}89 \pm 0{,}06$ sec. Die Aktivität wird dem Isotop

^8Li zugeschrieben, dessen Entstehung mit derselben Halbwertszeit auf anderem Wege bereits bekannt ist. Die hier vorliegende Reaktion ist:

$$^{11}B(n, \alpha)^8Li$$

$$^8Li \rightarrow 2\,^4He + e^- .$$

Sie erfordert Neutronen von mehr als 6 MeV.

7. *N*. Bei Stickstoff wurde die Aktivität des Isotops ^{13}N mit etwa 10 min Halbwertszeit von Heyn (458) bestätigt.

Der Wirkungsquerschnitt des Ausgangsisotops ^{14}N gegenüber den zu dieser Periode führenden Neutronen wurde von Baldinger u. a. (640) zu $0{,}4 \cdot 10^{-25}$ cm² gemessen.

8. *O*. Die starke 8-sec-Sauerstoffperiode wurde von Heyn (458) bestätigt.

Für die zweite Sauerstoffperiode von 2,1 min fand Heyn keine Anzeichen. Sie wurde früher dem Isotop ^{15}O zugeordnet, das aus ^{16}O durch den $(n, 2n)$-Prozeß entstehen würde. Da nach Livingston und Bethe die Bindungsenergie des zweiten Neutrons bei 16 MeV liegt, ist die Nichtbeobachtung wahrscheinlich dem Umstand, daß die verwandten Neutronen eine Energie von weniger als 14 MeV hatten, zuzuschreiben.

11. *Na*. Die neueren Untersuchungen beziehen sich auf die durch das Isotop ^{24}Na bedingte Natriumaktivität.

Die obere Grenze ihres β-Spektrums war früher zu 1,7 MeV gemessen worden. Sugimoto (475) fand, daß das β-Spektrum aus zwei Teilspektren mit dem Unterschied von 1 MeV besteht. Nach Amaki u. a. (476) sollen diese Teilspektren die oberen Grenzen von 1,76 und 0,81 MeV und die relativen Intensitäten von 4,9 : 1 haben.

Im Gegensatz zu ihnen schließen Langer u. a. (641) aus eingehenden Messungen über die β-γ- und γ-γ-Koinzidenzen, daß das Spektrum nicht komplex ist und eine obere Grenze von 1,43 MeV hat. Nahezu denselben Wert finden Kikuchi u. a. (665) mit $1{,}37 \pm 0{,}03$ MeV.

Das Endprodukt des Zerfalls, ^{24}Mg, entsteht im angeregten Zustand. Im Durchschnitt werden 2,36 γ-Quanten pro Zerfall emittiert.

Kikuchi u. a. (642, 665) finden über die Sekundärelektronen die γ-Strahlen von etwa 0,8, 1,49 und 2,97 MeV, während die früheren Werte bei 0,95, 1,93 und 3,08 MeV lagen.

13. *Al*. Nach Hill (529) erfordert der Aktivierungsprozeß

$$^{27}Al(n, p)^{27}Mg$$

eine Mindestenergie der Neutronen von 2,6 MeV.

15. *P*. Heyn (458) bestätigte die starke, langlebige, auf ^{32}P zurückgehende Phosphoraktivität.

16. *S*. Bei Schwefel konnte Heyn jedoch die früher angegebene 26-min-Aktivität eines Schwefelisotops weder bei langsamen noch bei schnellen Neutronen finden.

Die Halbwertszeit der durch das aktive Isotop ^{32}P verursachten Periode wurde von Govaerts (462) zu $14{,}77 \pm 1$ d, die obere Grenze des Elektronenspektrums von Guében (463) zu 1,85 MeV gemessen. Beide Ergebnisse stimmen mit früheren Daten überein.

Govaerts (462) fand außerdem eine durch ein aktives Schwefelisotop bedingte Aktivität von 29–60 d und erklärt sie durch den Prozeß:

$$^{34}S(n, \gamma)^{35}S.$$

Das Isotop ^{35}S war ebenfalls von Anderson für die bei Bestrahlung von Chlor mit Neutronen beobachtete 80-d-Periode verantwortlich gemacht worden.

Möglicherweise ist diese lange, auch bei schnellen Neutronen beobachtete Periode die Ursache für die großen Abweichungen, die bei der Halbwertszeitbestimmung der 14-d-Phosphorperiode auftraten.

17. *Cl*. Die bei der Aktivierung von Chlor vorliegenden Verhältnisse sind auch durch die neueren Untersuchungen nicht geklärt.

Ebenso wie die frühere Vermutung von Griffiths u. a. (359g) von der Existenz eines langlebigen Chlorisotops unbestätigt blieb, fand Grahame (460) auch für ein kurzlebiges Chlorisotop keine Anzeichen.

Das β-Spektrum der durch den aktiven Kern ^{35}S bedingten Aktivität hat nach den Messungen von Libby u. a. (530) eine obere Grenze von $0{,}107 \pm 0{,}02$ MeV.

Heyn (458) beobachtete zwei Perioden von:

1. 5 min mit Elektronenemission und einem chemisch nachgewiesenen aktiven Schwefelisotop. Als Kernprozeß wird

$$^{37}Cl(n, p)^{37}S$$

vermutet. Die Periode trat bei schnellen Neutronen auf.

2. 37 min mit Elektronenemission und einem chemisch nachgewiesenen aktiven Chlorisotop, wahrscheinlich ^{36}Cl. Diese Periode zeigte sich bei schnellen und langsamen Neutronen und war auch von Ripper (477) beobachtet worden.

Als Kernprozeß hat dementsprechend

$$^{35}Cl(n, \gamma)^{36}Cl$$

und

$$^{37}Cl(n, 2n)^{36}Cl$$

zu gelten (458).

Ripper (477) maß die Halbwertszeit der bekannten, auf ^{32}P zurückzuführenden Aktivität zu 13,8 d in Übereinstimmung mit den früheren Arten.

Früher war von der Aktivität eines Argonisotops berichtet worden, das unter Emission von α-Teilchen zerfällt. Ripper (477) konnte trotz eingehendster Untersuchung diese Beobachtung nicht bestätigen.

21. *Sc.* Hevesy u. a. (464) bestrahlen Skandium mit langsamen Neutronen und finden folgende, bereits bekannte Perioden:

1. Von ungefähr 15 h mit dem Umwandlungsprozeß:
$$^{45}Sc(n, \alpha)^{42}K.$$
2. Von 50 h.
3. Von 90 ± 5 d — $^{45}Sc(n, \gamma)^{46}Sc$ (478) — und
4. von mehr als 1 Jahr mit einem aktiven *Sc*-Isotop und geringer Intensität.

22. *Ti.* Magnan (531) beobachtete bei Titan Teilchen mit einer Energie von 25 MeV.

23. *V.* Das über einen (n, γ)-Prozeß zu der Aktivität von 3,5 min führende Vanadiumisotop ^{51}V hat nach den Messungen von Griffiths (532) einen Wirkungsquerschnitt von $0{,}21 \cdot 10^{-26}$ cm².

24. *Cr.* Heyn (458) aktivierte Chrom mit energiereichen Neutronen und bestätigte die bekannte, auf das aktive *V*-Isotop ^{52}V zurückgeführte Periode von 4 min. Er beobachtete ferner eine Periode von 2,5 h, die mit der früher zu 1,7 h angegebenen identisch sein wird und eine neue, sehr lange Periode.

25. *Mn.* Die neueren Arbeiten über die Aktivität des Mangans betreffen den Umwandlungsvorgang:
$$^{55}Mn(n, \gamma)^{56}Mn$$
$$^{56}Mn \rightarrow {}^{56}Fe + e$$
mit der Halbwertszeit von 2,5 h.

Nach den Messungen von Griffiths (532) hat der Kern ^{55}Mn gegenüber den zu dieser Umwandlung führenden Neutronen den Wirkungsquerschnitt von $0{,}45 \cdot 10^{-26}$ cm².

Das Elektronenspektrum war früher in zwei Teilspektren mit den oberen Grenzen von 1,2 und 2,9 MeV zerlegt worden. Dieses Vorgehen ist nach den Untersuchungen von Langer u. a. (533, 536), Norling (534) und Dunworth (535) durchaus berechtigt.

Während bereits bekannt war, daß ein Teilspektrum mit einer γ-Strahlung verbunden ist, beobachtete Norling (534) diesen Tatbestand auch für das zweite Teilspektrum.

Nach Langer u. a. (536) kann der stabile Kern ^{56}Fe in zwei angeregten Zuständen entstehen, und zwar würden beim Zerfall des oberen Zustandes 1 γ-Quant, bei dem des unteren Zustandes 2 γ-Quanten emittiert werden.

Dunworth (535) gibt weiterhin ein Kernschema an, aus dem die Existenz einer γ-Strahlung von 0,6 MeV folgt, die auch beobachtet werden konnte. Bacon u. a. (643) schließen aus den beobachteten Elektronengruppen auf zwei γ-Strahlungen von 600—700 ekV und 1,7 MeV.

Heyn (458) konnte die 12-min-Periode nur bei langsamen Neutronen beobachten. Bei schnellen Neutronen war die Intensität der 2,5-h-^{56}Mn-Aktivität zu groß.

29. *Cu.* Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen über die Aktivität des Kupfers decken sich mit denen früherer Arbeiten. Sagane (514) beobachtete:

1. Mit langsamen Neutronen die 5-min-Periode des Prozesses:
$$^{65}Cu(n, \gamma)^{66}Cu.$$
Nach Griffiths (532) hat ^{65}Cu einen Wirkungsquerschnitt von $0{,}21 \cdot 10^{-26}$ cm², das Elektronenspektrum nach Sinma (479) bei Extrapolation gemäß der K.-U.-Theorie die obere Grenze von 2,91 MeV.
2. Mit schnellen Neutronen die mit Positronenemission verbundene Periode von 10 min, deren aktives *Cu*-Isotop chemisch festgestellt wurde. Der Kernprozeß ist:
$$^{63}Cu(n, 2n)^{62}Cu.$$
Das Positronenspektrum hat bei Extrapolation nach K.-U. nach Sinma (479) die obere Grenze von 3,42 MeV.
3. Ebenso wie früher Heyn (458) mit schnellen Neutronen die von Elektronen begleitete Periode von 2,5 h mit einem chemisch nachgewiesenen *Ni*-Isotop. Sie wird dem Prozeß
$$^{63}Cu(n, p)^{63}Ni$$
zugeordnet.
4. Mit schnellen und langsamen Neutronen die auf ein chemisch nachgewiesenes *Cu*-Isotop zurückgehende Periode von 12,8 h. Als Kernprozeß hat demensprechend
$$^{63}Cu(n, \gamma)^{64}Cu$$
und
$$^{65}Cu(n, 2n)^{64}Cu$$
zu gelten.

Der Kern ^{63}Cu hat nach den Messungen von Griffiths (532) gegenüber den Neutronen des (n, γ)-Prozesses einen Wirkungsquerschnitt von $0{,}35 \cdot 10^{-26}$ cm². Das aktive Isotop ^{64}Cu zerfällt mit Positronen- und Elektronenemission, deren obere Grenze Tyler

(515) zu 0,659 bzw. 0,578 MeV bestimmte. Anzeichen für eine mit der Positronenemission verbundene γ-Strahlung lagen nicht vor.

Abelson (537) stellte fest, daß die beobachtete Röntgenstrahlung eine Nickellinie ist.

Bei Bestrahlung von Kupfer mit Neutronen traten in den Versuchen von Green u. a. (538) keine so stark ionisierenden Teilchen wie bei den Zerplatzungen des Urankerns auf.

30. *Zn*. Die bei der Aktivierung von Zink vorliegenden Verhältnisse waren bereits weitgehend geklärt und wurden durch die Ergebnisse der neueren Untersuchungen bestätigt und ergänzt.

1. Sagane (514) beobachtete die bekannte 5-min-Periode des aktiven Isotops ^{66}Cu, allerdings auch bei Verwendung langsamer Neutronen.
2. Die durch ein chemisch nachgewiesenes *Zn*-Isotop bedingte 40-min-Periode war auch von Heyn (458) angegeben worden. Sagane (514) mißt ihre Halbwertszeit zu 37 min und wies das mit Positronenemission zerfallende aktive Isotop als *Zn*-Isotop chemisch nach.
3. Die Halbwertszeit der auch von Heyn (458) angegebenen 60-min-*Zn*-Periode wurde von Sagane (514) und Livingood u. a. (495) zu 57 min gemessen. Die Periode entsteht vorwiegend durch langsame Neutronen (458)(514), ist gemäß chemischer Untersuchungen durch ein aktives *Zn*-Isotop verursacht (495) (514) und mit der Emission von Elektronen von 1 MeV verbunden; γ-Strahlen wurden nicht beobachtet.

Als aktives Isotop wird nach wie vor ^{69}Zn angesehen.

4. Livingood u. a. (495) berichten von einer Periode von 13,8 h mit Elektronenemission von 1,1 MeV und γ-Strahlen von 0,4 MeV. Da als ihr aktiver Bestandteil ein *Zn*-Isotop chemisch festgestellt wurde, kann sie nicht mit der bekannten 12,5-h-Periode, deren aktives Isotop ein *Cu*-Isotop ist, identisch sein. Livingood u. a. schreiben sie ebenfalls dem Kern ^{69}Zn zu.

Mit dieser Deutung ist das Isotop ^{69}Zn isomer und zerfällt mit den Halbwertszeiten von 57 min und 13,8 h.

5. Die von Heyn früher gefundene Periode wird von ihm auch später (458) angeführt.
6. Die Halbwertszeit der bekannten, durch das aktive Isotop ^{64}Cu erklärten Periode wurde von Heyn (458) zu 12,5 h, von Sagane (514) zu 12,8 h angegeben. Von letzterem wurde das aktive *Cu*-Isotop chemisch nachgewiesen.
7. Bei Verwendung von langsamen Neutronen, und nur bei diesen, konnte Sagane (514) die neue Periode von 210 d beobachten. Sie ist durch ein chemisch festgestelltes *Zn*-Isotop verursacht und mit energiearmen Positronen und mit einer harten γ-Strahlung verbunden. Als Kernprozeß hat

$$^{64}Zn\,(n,\gamma)\,^{65}Zn$$

zu gelten.

Bei der Bestrahlung von Zink treten nach den Beobachtungen von Green u. a. (538) keine derartig stark ionisierenden Teilchen auf wie bei Uran durch den neuartigen Prozeß der Kernzerplatzung.

31. *Ga*. Die Ergebnisse früherer Untersuchungen über die Aktivität des Galliums, die zur Annahme von 6 Perioden führten, wurden von Sagane (514) überprüft.

Von den 3 Perioden von 5 min, 1,7 h und 23 h fanden sich keine Anzeichen.

Die 20-min-^{70}Ga-Periode und die 14-h-^{72}Ga-Periode mit Elektronenemission traten bei schnellen und langsamen Neutronen auf, die 66-min-^{68}Ga-Periode mit Positronenemission lediglich bei schnellen Neutronen. Für alle 3 Perioden wurden die aktiven *Ga*-Isotope chemisch nachgewiesen.

Livingood u. a. (495) berichten von zwei neuen, bei Verwendung von schnellen Neutronen auftretenden Aktivitäten, deren Halbwertszeiten 57 min und 13,8 h sind. In ersterer werden Elektronen von 1 MeV, aber keine γ-Strahlen, in letzterer Elektronen von 1,1 MeV und γ-Strahlen von 0,4 MeV emittiert.

Die aktiven Isotope sind, chemischen Versuchen entsprechend, *Zn*-Isotope.

Beide Aktivitäten werden auf den Kern ^{69}Zn zurückgeführt und durch den Prozeß

$$^{69}Ga\,(n,p)\,^{69}Zn \qquad ^{69}Zn \rightarrow {}^{69}Ga + e^-$$

gedeutet.

32. *Ge*. Sagane (514) bestätigt die bei Germanium auftretenden vier bereits bekannten Aktivitäten durch die Beobachtung folgender Perioden:

1. Von 29 min mit Positronen und dem aktiven ^{69}Ge-Isotop. Die Anregung erfolgte durch schnelle Neutronen.
2. Von 81 min mit Elektronen und dem aktiven ^{75}Ge. Diese Aktivität wurde durch langsame und schnelle Neutronen angeregt.
3. Von 8 h, vorwiegend durch langsame Neutronen, mit Elektronenemission und dem aktiven Isotop ^{77}Ge.
4. Von 26 h mit Positronen und dem aktiven ^{71}Ge. Die Anregung erfolgte durch schnelle und langsame Neutronen.

Sagane findet außerdem durch schnelle und langsame Neutronen die neue Periode von 6 d, deren aktives Isotop möglicherweise ^{74}Ga ist.

33. *As*. Bei Arsen tritt der bekannte Kernprozeß

$$^{75}As(n, \gamma)\,^{76}As$$

auf. Griffiths (532) gibt an, daß der Kern ^{75}As gegenüber den zu diesem Prozeß führenden Neutronen einen Wirkungsquerschnitt von $3{,}2 \cdot 10^{-26}$ cm² hat.

Die Halbwertszeit der ^{76}As-Periode wurde von Weil u. a. (540) in Übereinstimmung mit dem bisherigen Wert zu 26,75 h gemessen.

Das β-Spektrum, dessen obere Energiegrenze von Guében (463) zu mehr als 2,9 MeV, von Weil u. a. (540) zu 2,71 MeV angegeben wird, war der Gegenstand der eingehenden Untersuchungen von Sagane u. a. (517), Schaeffer u. a. (539), Weil u. a. (540) und Saha (541).

Es steht jetzt mit ziemlicher Sicherheit fest, daß das β-Spektrum zusammengesetzt ist. Sagane u. a. (517) berichten von 2 Teilspektren mit den oberen Grenzen von 1,31 MeV und 2,75 MeV. Weil u. a. (540) stellen fest, daß das β-Spektrum entweder aus 2 Teilspektren von Konopinski-Uhlenbeckscher Art oder aus 3 Teilspektren Fermischer Form bestehen muß. Saha (541) gibt dann auch 3 Teilspektren mit 0,8; 1,7 und 2,5 MeV an.

Die emittierte γ-Strahlung ist nach Sagane u. a. (517) 0,5 und 1,5 MeV, nach Saha (541) 0,8 und 1,7 MeV, wobei die γ-Strahlung von 0,8 MeV mit dem Teilspektrum von 1,7 MeV gekoppelt ist und die γ-Strahlung von 1,7 MeV mit dem von 0,8 MeV.

Sagane u. a. (517) beobachteten ferner eine Periode von 16 d des aktiven Isotops ^{74}As, das durch den Prozeß

$$^{75}As(n, 2\,n)\,^{74}As$$

entsteht. Der Zerfall geht unter Emission von Positronen von 0,9 MeV und von Elektronen von 1,3 MeV vor sich.

34. *Se*. Bei Selen waren eine Periode von 22 min und eine solche von 56—60 min bekannt. Bei letzterer war ein aktives *Se*-Isotop chemisch nachgewiesen worden.

Sagane u. a. (517) fanden nun eine Periode von 65 min, gemäß chemischer Untersuchungen jedoch mit einem aktiven *As*-Isotop. Als Kernprozeß wird

$$^{78}Se(n, p)\,^{78}As\ ,$$

angesehen.

Außerdem beobachteten sie zwei neue Perioden:

1. Von 16 d. Als aktiver Bestandteil wurde Arsen, wahrscheinlich ^{74}As, nachgewiesen.
2. Von 26 h. Der Umwandlungsprozeß ist:

$$^{76}Se(n, p)\,^{76}As$$

wobei das aktive *As*-Isotop chemisch festgestellt wurde.

Das β-Spektrum besteht aus zwei Teilspektren von 1,31 und 2,75 MeV. Ferner treten γ-Strahlen von 0,5 und 1,5 MeV auf.

Nach den früheren Ergebnissen von Snell soll bei Beschießung von Selen mit Deutonen über den (d, p)-Prozeß ein aktives *Se*-Isotop entstehen, das in ein aktives Bromisotop mit der Halbwertszeit von 2,5 h zerfällt.

Durch langsame Neutronen sollte das gleiche aktive *Se*-Isotop und damit auch das 2,5-h-*Br*-Isotop entstehen. Für letzteres fanden Bothe und Gentner (624) jedoch keine Anzeichen, ebenso wie bei Bestrahlung des Selens mit γ-Strahlen.

35. *Br*. Sagane u. a. (517) aktivierten Brom mit schnellen Neutronen und beobachteten die bereits bekannten Perioden von:

1. 65 ± 2 min. Sie wiesen ein aktives *As*-Isotop chemisch nach und bestimmten die obere Grenze des Elektronenspektrums zu 1,4 MeV und die Energie der auftretenden γ-Strahlung zu etwa 0,27 MeV.

   Als Umwandlungsprozeß hat zu gelten:

$$^{81}Br(n, \alpha)\,^{78}As\ .$$

2. 26 h. Sie wird dem Prozeß

$$^{79}Br(n, \alpha)\,^{76}As$$

   zugeordnet.

   Die Elektronen bildeten zwei Teilspektren mit den oberen Grenzen von 1,31 und 2,75 MeV. Außerdem traten γ-Strahlen von 0,5 und 1,5 MeV auf.

   Le Roux u. a. (544) bestätigten ferner:

3. Die schon früher entdeckte Periode von 36 h des aktiven Isotops ^{82}Br.

Eine große Zahl von Arbeiten befaßt sich mit dem isomeren Kern ^{80}Br, der bekanntlich mit den Halbwertszeiten von 18 min und 4,2 h zerfallen kann.

Es entsteht durch den $(n; \gamma)$-Prozeß aus dem stabilen Isotop ^{79}Br. Griffiths (532) stellte fest, daß dieses Isotop gegenüber den zur 18-min-Periode führenden Neutronen einen Wirkungsquerschnitt von $4{,}9 \cdot 10^{-26}$ cm² und gegenüber den zur 4,2-h-Periode führenden Neutronen einen solchen von $2{,}7 \cdot 10^{-26}$ cm² hat.

Segré u. a. (543) hatten eine chemische Methode ausgearbeitet, nach der es möglich ist,

die isomeren Formen des genannten *Br*-Isotops zu trennen. Dazu wird das zu untersuchende Element in Form einer organischen Verbindung bestrahlt. Wandelt sich ein getroffener Kern unter Emission einer γ-Strahlung um, so erhält er einen Rückstoß und kann dadurch den Molekularverband verlassen. Darauf beruht die bekannte chemische Nachweismethode von Szilard und Chalmers. Geht ein getroffener Kern in die isomere Form eines anderen, also in dessen metastabilen Zutand über, so wird bei dem Übergang von dem metastabilen in den Grundzustand eine γ-Strahlung emittiert, die dem emittierenden Kern einen Rückstoß erteilt und ihn eventuell aus dem Molekularverband stößt. Wahrscheinlich ist dieser Rückstoß für eine Loslösung des Kerns nicht groß genug, reicht aber zu einer Anregung des betreffenden Atoms aus, die möglicherweise einen chemischen Nachweis zuläßt. Andererseits erfahren die γ-Strahlen eine innere Umwandlung und der größere Rückstoß des herausfliegenden Elektrons wird eine Loslösung des Atoms aus dem Molekularverband bewirken können. Das Atom liegt dann als freies Ion vor und läßt sich auf chemischem Wege von den Atomen des Molekularverbandes trennen und nachweisen.

Aus den Versuchen von Segré und denen von de Vault u. a. (546) und Le Roux u. a. (544) geht einwandfrei und eindeutig hervor, daß das 4,2-h-Isotop ein reiner γ-Strahler ist und durch die Emission der γ-Strahlen in das 18-min-Isotop übergeht.

Siday (545) bestimmte deren Energie aus den beobachteten *K*- und *L*-Elektronen zu 0,43 MeV.

Es spielen sich also folgende Kernvorgänge ab:

$$^{79}Br\,(n\,,\gamma)\,^{80}Br^*$$

$$^{80}Br^* \xrightarrow{4,2\,\mathrm{h}} {}^{80}Br + \gamma$$

$$^{80}Br \xrightarrow{18\,\mathrm{min}} {}^{80}Kr + e^- .$$

Abelson (537) und Roussinow u. a. (542) fanden ferner die *K*-Strahlung des Broms. Sie ist dadurch zu erklären, daß die beim Übergang des 4,2-h-Isotops in das von 18 min emittierten γ-Strahlen in der Atomhülle des 18-min-Isotops eine innere Umwandlung erleiden und dadurch ein Elektron aus der *K*-Schale entfernen. Bei der Auffüllung der Schale entsteht die *K*-Strahlung. Da diese nun für Brom charakteristisch ist, muß das Isotop, in dessen Atomhülle sich der geschilderte Vorgang abspielte, also das 18-min-Isotop, ein Bromisotop sein.

Nähere Einzelheiten über diesen äußerst interessanten Fall von Isomerie finden sich in dem Bericht von Gentner (550).

38. *Sr.* Bei der Aktivierung von Strontium fand Stewart (518, 519) lediglich die beiden bekannten Perioden von:

1. 3 h. Das Elektronenspektrum hatte eine obere Grenze von 0,6 MeV und die γ-Strahlen eine Energie von 0,55 und 1,1 MeV.
2. 55 d mit Elektronen von 1,5 MeV, aber keine γ-Strahlen.

Die Intensität der kürzeren Periode ist größer als die der längeren. Beide Perioden sind isomer und werden dem aktiven Kern ^{89}Sr zugeschrieben. Dabei gehört die 3-h-Periode zu dem metastabilen, die 55-d-Periode zum Grundzustand.

Magnan (531) findet keine Anzeichen für das „Zerplatzen" eines *Sr*-Isotops unter der Einwirkung von Neutronen in zwei etwa gleich schwere Stücke.

39. *Y.* Stewart (519) bestätigt die von ihm früher angegebene Yttriumperiode mit der Halbwertszeit von $2{,}0 \pm 0{,}2$ h. Sie war mit Elektronenemission verbunden.

Weiterhin war die durch den Prozeß

$$^{89}Y\,(n\,,\gamma)\,^{90}Y$$

verursachte Aktivität von 60 h bekannt. Griffiths (532) mißt den Wirkungsquerschnitt des Isotops ^{89}Y gegenüber den Neutronen dieses Prozesses zu $0{,}19 \cdot 10^{-26}\,\mathrm{cm}^2$.

40. *Zr.* Bei Zirkon konnte von Magnan (531) nicht beobachtet werden, daß — wie bei Uran — ein Isotop unter der Einwirkung von Neutronen in zwei etwa gleich schwere Bruchstücke zerfällt.

41. *Nb.* Es waren früher zwei schwache Perioden von 7,3 min und 3,8 d gefunden worden. Beide werden von Sagane u. a. (480, 517) bestätigt, allerdings lag die Halbwertszeit der längeren Periode bei 2,8 d. Außerdem traten zwei neue Perioden auf.

Im einzelnen liegen für die Aktivität des Niobs folgende Ergebnisse vor:

1. Die Periode von 7,5 min ist mit Elektronenemission verbunden und dem Prozeß

$$^{93}Nb\,(n\,,\gamma)\,^{94}Nb\,,$$

zuzuschreiben.
2. Die Periode von 66 ± 10 h wird durch langsame und schnelle Neutronen angeregt. Sie wird erklärt durch den Prozeß:

$$^{93}Nb\,(n\,,\alpha)\,^{90}Y$$

wobei ein aktives *Y*-Isotop chemisch festgestellt wurde.
Die emittierten Elektronen haben eine obere Grenze von $2{,}3 \pm 0{,}3$ MeV.

3. Die Periode von 11 ± 1 d trat durch schnelle Neutronen auf und ist durch ein chemisch nachgewiesenes *Nb*-Isotop verursacht. Sie wird dem Prozeß

$$^{93}Nb(n, 2n)^{92}Nb$$

zugeordnet.

Das Elektronenspektrum hat eine obere Grenze von $1 \pm 0{,}2$ MeV.

4. Die Periode von 8 ± 2 h ist wahrscheinlich auf eine Verunreinigung durch Tantal zurückzuführen (514).

42. *Mo*. Bei Molybdän fand Heyn (458) die Perioden von:

1. 18 ± 1 min. Sie trat nur bei schnellen Neutronen auf und war durch frühere Messungen bereits bekannt.

2. 58 ± 3 h. Sie trat bei schnellen und langsamen Neutronen auf und wird mit der Periode identisch sein, deren Halbwertszeit früher zu 36 h bzw. 65 h angegeben wurde.

Seaborg u. a. (521) fanden bei der Aktivierung von Molybdän durch Neutronen dieselben beiden Perioden von 67 ± 2 h und 6,6 h, die sie bei Verwendung von Deutonen beobachtet hatten. Möglicherweise ist die lange Periode mit der 58-h-Periode von Heyn identisch.

Die lange Periode ist durch ein chemisch nachgewiesenes aktives *Mo*-Isotop verursacht und mit Elektronenemission verbunden.

Die kurze Periode gehört gemäß chemischer Untersuchungen zu einem *Ma*-Isotop und wird von einer γ-Strahlung von 180 ekV begleitet.

Es kann als sicher gelten, daß das 6,6-h-Isotop aus dem 67-h-Isotop hervorgeht, und zwar nach folgendem Schema:

$$^{98,\,100}Mo(n, \gamma)^{99,\,101}Mo$$

$$^{99,\,101}Mo \xrightarrow{67\text{ h}} {}^{99,\,101}Ma^*$$

$$^{99,\,101}Ma^* \xrightarrow{6{,}6\text{ h}} {}^{99,\,101}Ma + \gamma\,.$$

Die bei der *Ma*-Periode beobachteten Elektronen von 116 ekV bilden kein kontinuierliches Spektrum, stammen also nicht aus dem Kern. Sie sind der inneren Umwandlung und Kern-γ-Strahlung von 136 ekV zuzuschreiben. Das aktive *Ma*-Isotop ist also aus dem *Mo*-Isotop im metastabilen Zustand entstanden und zerfällt unter Emission von γ-Strahlen in den entweder stabilen oder sehr langlebigen Grundzustand. Für diese Deutung spricht der Umstand, daß die K_α-Strahlung des Elementes Masurium auftritt.

Magnan (531) und Thibaud u. a. (547) suchten nach Anzeichen für den Zerfall eines *Mo*-Isotops in zwei etwa gleich schwere Kerne, jedoch ohne Erfolg.

45. *Rh*. Für Rhodium liegen folgende neue Ergebnisse vor:

1. Die Halbwertszeit der kürzesten *Rh*-Periode wird von Crittenden u. a. (465) zu 44 sec in Einklang mit den letzten Messungen früherer Zeit angegeben.

Das β-Spektrum hat eine obere Grenze von 2,25 MeV (465), bei Extrapolation gemäß der K.U.-Theorie von 2,74 MeV (465) bzw. von 2,70 MeV nach Rajam u. a. (548).

2. Die Halbwertszeit einer weiteren, bekannten Periode wurde von Heyn (458) zu 4 min und von Crittenden u. a. (465) zu 4,2 min gemessen.

Das β-Spektrum hat bei Extrapolation nach der K.U.-Theorie eine obere Grenze von 2,75 MeV (465) (548).

Beide Perioden sind — wie bereits bekannt — isomer und gehören zu ^{104}Rh (465).

Ferner berichtet Heyn (458) von einer Aktivität von 45 min und einer solchen sehr langer Halbwertszeit.

46. *Pd*. Mit Neutronen bestrahltes Palladium wurde von Magnan (531) auf das Auftreten von zwei etwa gleich schweren Kernen hin untersucht, die auf das „Zerplatzen" eines *Pd*-Kerns hindeuten würden. Die Versuche fielen negativ aus.

47. *Ag*. Die neuen Arbeiten über die Aktivität des Silbers bringen nur Ergänzungen zu bereits weitgehend untersuchten Perioden und zwar:

1. Die Halbwertszeit der dem ^{110}Ag zugeordneten Periode beträgt nach Moussa u. a. (466) $23{,}9 \pm 1$ sec.

Das β-Spektrum hat nach Rajam u. a. (548) bei Extrapolation gemäß der K.U.-Theorie eine obere Grenze von $2{,}81 \pm 0{,}08$ MeV.

2. Die Periode des aktiven Isotops ^{108}Ag hat nach Moussa u. a. (466) den Wert 140 ± 2 sec.

Sie ist dem Prozeß

$$^{107}Ag(n, \gamma)^{108}Ag$$

zuzuschreiben. Griffiths (532) stellte fest, daß der Kern ^{107}Ag gegenüber den Neutronen dieses Prozesses einen Wirkungsquerschnitt von $10 \cdot 10^{-26}$ cm² besitzt.

Die obere Grenze des β-Spektrums wurde von Rajam u. a. (548) bei Benutzung der K.U.-Theorie zu $1{,}72 \pm 0{,}05$ MeV bestimmt.

3. Die 8-d-Periode des Kerns ^{106}Ag ist nach Richardson (506) mit γ-Strahlen von 300; 500 und 900 kV verbunden.

Die Elektronen haben nach weiteren Untersuchungen von Richardson (644) zu 54 Proz. eine Energie von weniger als 17 ekV, die übrigen eine solche von über 800 ekV.

Magnan (531) und Roberts u. a. (504) konnten bei Silber keine so energiereichen Teilchen finden wie bei Uran infolge des „Zerplatzens" der Urankerne.

48. *Cd.* Bei Kadmium beobachtete Heyn (458) die drei bereits bekannten Aktivitäten von 25 ± 2 min, $3{,}2 \pm 0{,}2$ h und 58 ± 2 h. Die beiden letzteren Aktivitäten wurden vorwiegend durch schnelle Neutronen angeregt.

Die Periode von etwa 2,5 d wurde früher dem Isotop ^{117}Cd zugeordnet, Goldhaber u. a. (522) beobachteten nun, daß aus dieser 2,5-d-Periode eine mit Elektronenemission verbundene Periode von 4,1 h mit einem chemisch nachgewiesenen aktiven *In*-Isotop hervorgeht. Da für letztere mit ziemlicher Sicherheit der Kern $^{115}In^*$ verantwortlich gemacht werden muß, schreiben sie die 2,5-d-Periode dem Kern ^{115}Cd zu. Es ergibt sich dann folgendes Bild:

$$^{116}Cd(n,\,2\,n)\,^{115}Cd$$
$$^{115}Cd \xrightarrow{2{,}5\,\mathrm{d}} {}^{115}In^* + e^-$$
$$^{115}In^* \xrightarrow{4{,}1\,\mathrm{h}} {}^{115}In + e^-.$$

Die obere Grenze des Elektronenspektrums betrug 0,55 MeV. Magnan (531) konnte auch hier keine Andeutungen dafür finden, daß *Cd*-Kerne in zwei etwa gleich schwere Teilchen „zerplatzen".

49. *In.* Cork u. a. (524) berichten bei Indium von einer γ-Strahlung, deren Intensität mit der bislang unbekannten Periode von 65 h abfällt, konnten aber keine dazugehörigen β-Teilchen feststellen.

Die schon früher beobachtete 54-min-Periode wurde dem isomeren, aktiven Isotop ^{116}In mit dem Entstehungsprozeß

$$^{115}In(n,\gamma)\,^{116}In$$

zugeschrieben.

Griffiths (532) bestimmte den Wirkungsquerschnitt von ^{115}In gegenüber den Neutronen dieses Prozesses zu $4{,}7 \cdot 10^{-26}$ cm².

Das β-Spektrum ist nach Langer u. a. (533, 549) nicht zusammengesetzt und hat nach Guében (467) eine obere Grenze von 1,45 MeV. Auf einen β-Übergang folgen durchschnittlich zwei γ-Quanten (549).

Goldhaber u. a. (522) untersuchten die 4,1-h-Periode sehr eingehend und kommen zu dem anderweitig bestätigten Ergebnis, daß diese Periode durch einen metastabilen Zustand des stabilen Kerns ^{115}In verursacht ist. (Vgl. den Bericht von Gentner (550)).

Sie aktivierten nämlich Indium mit Neutronen verschiedener Energie und verglichen die Intensität dieser 4,1-h-Periode mit der der 54-min-Periode. Alles deutete darauf hin, daß die 4,1-h-Aktivität weder durch einen (n,γ)-, noch durch einen $(n,\,2\,n)$-Prozeß angeregt wird.

Ferner war die Intensität der 4,1-h-Periode bei Verwendung von Neutronen von 2,5 MeV sehr groß. Zweifellos kann bei diesen energiereichen Neutronen ein (n,γ)-Prozeß nicht vorliegen, andererseits ist aber auch ein $(n,\,2n)$-Prozeß ausgeschlossen, da die Neutronenbindungsenergie größer als die Energie der verwendeten Neutronen ist, diese also kein Neutron aus dem Kern befreien können. Mit der Feststellung eines metastabilen Isotops $^{115}In^*$ als aktiven Bestandteil der 4,1-h-Periode ergibt sich der Kernprozeß:

$$^{115}In(n,\,n)\,^{115}In^*$$
$$^{115}In^* \xrightarrow{4{,}1\,\mathrm{h}} \begin{cases} \text{entweder} & ^{115}Sn + e^- \\ \text{oder} & ^{115}In + \gamma\,. \end{cases}$$

50. *Sn.* Roberts u. a. (504) untersuchten Zinn auf äußerst energiereiche Teilchen hin, die auf die bei Uran gefundene Erscheinung des „Zerplatzens" der angeregten Kerne hindeuten. Die Versuche liefen negativ aus.

51. *Sb.* Das Ausgangsisotop des zu der bekannten 2,5-d-Periode führenden (n,γ)-Prozesses — ^{121}Sb oder ^{123}Sb — hat gegenüber den Neutronen dieses Prozesses einen Wirkungsquerschnitt von $6{,}3 \cdot 10^{-26}$ cm². Das Elektronenspektrum hat nach Amaki u. a. (476) die obere Grenze von 1,64 MeV.

Letztere messen auch die obere Grenze des Elektronenspektrums der 15-min-^{120}Sb-Aktivität zu 1,53 MeV.

52. *Te.* Livingood u. a. (454) fanden bei Tellur mit langsamen Neutronen die neue Periode von 8 d. Diese ist von Elektronen von 1,24 MeV und γ-Strahlen von 0,4 MeV begleitet. Das aktive Isotop gehört, chemischen Untersuchungen entsprechend, zu Jod. Das aktive Jodisotop stammte aus einem aktiven *Te*-Isotop, das isomer sein und die Perioden von 1 h und 1,2 d haben sollte.

Neuere chemische Untersuchungen von Seaborg u. a. (531) stellen einwandfrei fest, daß die 8-d-*J*-Periode ebenso aus einer Periode von etwa 25 min wie aus einer solchen von 1,2 d entsteht. Die beiden letzteren Perioden sind isomer und gehören zu einem *Te*-Isotop. Dabei gehört die

längere Periode zu dem metastabilen Zustand dieses Isotops, die kürzere zu dessen Grundzustand.

$$^{130}Te\,(n,\gamma)\,^{131}Te^*$$

$$^{131}Te^* \xrightarrow{1,2\,d} {}^{131}Te + \gamma$$

$$^{131}Te \xrightarrow{25\,min} {}^{131}J + e$$

$$^{131}J \xrightarrow{8\,d} {}^{131}Xe + e\,.$$

Außerdem beobachteten Seaborg u. a. (551) eine Anzahl weiterer, darunter auch isomerer Aktivitäten.

Von Magnan (531) wurde untersucht, ob bei Tellur, ähnlich wie bei Uran, Teilchen auftreten, die auf ein „Zerplatzen" der Tellurkerne zurückzuführen wären. Es zeigten sich jedoch keine Anzeichen dafür.

53. *J.* Bei Jod bestätigten Livingood u. a. (454) die bekannten Perioden von:

1. 25 ± 1 min des Prozesses:

$$^{127}J\,(n,\gamma)\,^{128}J\,.$$

Der Ausgangskern ^{127}J hat nach Griffiths (532) gegenüber den Neutronen dieses Prozesses einen Wirkungsquerschnitt von $6{,}9 \cdot 10^{-26}$ cm².

Tape (526) und Livingood u. a. (454) bestimmten beide die obere Grenze des Elektronenspektrums zu 2,2 MeV, letztere die γ-Strahlung zu 0,4 MeV.

2. 13 ± 0,3 d des Prozesses:

$$^{127}J\,(n,2n)\,^{126}J\,.$$

Ebenso wie Tape (638), der noch das aktive Jodisotop chemisch nachwies.

Livingood u. a. (454) maßen die obere Grenze der Elektronen zu 1,13 MeV und die Energie der γ-Strahlung zu 0,5 MeV.

Tape (526) konzentrierte auf chemischem Wege die auf ^{126}J zurückzuführende Aktivität und fand mit 1,17 MeV denselben Wert für die obere Grenze der Elektronen.

Spätere Messungen von Tape (638) ergeben für die obere Grenze:

1,20 ± 0,03 MeV,
1,22 MeV bei Extrapolation nach Fermi,
1,29 MeV bei Extrapolation nach K.U.

Mit schnellen Neutronen beobachteten Livingood u. a. (525) später die neue Periode von 60 d, als deren aktiver Bestandteil ein *Sb*-Isotop chemisch nachgewiesen wurde. Die Periode wird durch den Prozeß

$$^{127}J\,(n,\alpha)\,^{124}Sb$$

gedeutet.

Es ergibt sich hiermit und bei Berücksichtigung der mit Deutonen erhaltenen Ergebnisse folgendes Bild:

Die dritte bekannte Jodperiode von 10 h wurde von Seaborg u. a. (503) bestätigt und wird wie früher auf Grund chemischer Versuche dem aktiven Isotop ^{127}Te zugeschrieben.

Mit Hilfe der Segrèschen Methode zur Trennung isomerer Kerne wurde aber festgestellt, daß diese Periode mit der neuen von 90 d isomer ist. Dabei entspricht letztere dem metastabilen Zustand des *Te*-Isotops.

Die vorliegenden Verhältnisse können demnach durch folgende Umwandlungsgleichung beschrieben werden:

$$^{127}J\,(n,p)\,^{127}Te^*$$

$$^{127}Te^* \xrightarrow{90\,d} {}^{127}Te + \gamma$$

$$^{127}Te \xrightarrow{10\,h} {}^{127}J + e\,.$$

55. *Cs.* Bei Zäsium ist die frühere Arbeit von Rona u. a. (359h) nachzutragen, in der eine Periode von einigen Monaten beobachtet wurde, jedoch nicht die von anderer Seite angegebene Periode von etwa 100 min.

56. *Ba.* Hahn u. a. (650) bestätigen die bereits bekannte 85-min-Barium-Aktivität und finden das für die Uranspaltung wichtige Ergebnis, daß aus dieser *Ba*-Aktivität keine andere hervorgeht.

57. *La.* Griffiths (532) bestimmte den Wirkungsquerschnitt des Lanthanisotops ^{139}La, das über den (n,γ)-Prozeß zu der 42-h-^{140}La-Periode führt, zu $0{,}4 \cdot 10^{-26}$ cm² und

59. *Pr.* denjenigen des Praseodymiumisotops ^{141}Pr, das über den (n,γ)-Prozeß zu der 19-h-^{142}Pr-Periode führt, zu $1{,}1 \cdot 10^{-26}$ cm².

63. *Eu.* Die Halbwertszeit der bekannten, auf das aktive Europiumisotop ^{152}Eu zurückgeführten Periode wurde von Tyler (515, 516) zu 9,2 h und von Fajans u. a. (528) zu 9,4 ± 0,2 h in bester Übereinstimmung mit dem bisherigen Wert gemessen.

Das Elektronenspektrum hat nach Tyler (515, 516) die obere Grenze von 1,885 MeV, nach Fajans u. a. (528) von 1,83 MeV und nach Guében (467) von 2,04 MeV.

Mit dieser Periode ist eine γ-Strahlung verbunden, die Richardson (506) zu 300 und 900 ekV, Tyler (516) zu 123, 163 und 725 ekV bestimmte.

Außerdem trat die γ-Strahlung von 40 ekV (506) bzw. 50 ekV (528) auf, die die K-Strahlung des Samariums ist (506).

Das stabile Ausgangsisotop ^{151}Eu dieser Periode hat gegenüber den Neutronen des zu dem aktiven Isotop ^{152}Eu führenden (n, γ)-Prozesses nach Griffiths (532) einen Wirkungsquerschnitt von $9{,}5 \cdot 10^{-26}$ cm^2.

Fajans u. a. (528) fanden zusätzlich eine Aktivität mit außerordentlich langer Halbwertszeit. Sie ist mit Elektronen von 1,0 MeV und einer γ-Strahlung verbunden und wird durch den Prozeß

$$^{153}Eu\,(n, \gamma)\,^{154}Eu$$

erklärt. Ein aktives Eu-Isotop war chemisch nachgewiesen worden.

64. *Gd.* Für die früher bei Gadolinium beobachtete Aktivität mit der Halbwertszeit von etwa 9 h muß nach neueren Angaben von Hevesy u. a. (552) eine Verunreinigung durch Europium verantwortlich gemacht werden.

65. *Tb.* Bei Terbium war der Prozeß

$$^{159}Tb\,(n, \gamma)\,^{160}Tb$$

mit der Halbwertszeit von 3,3–3,9 h bekannt. Griffiths (532) untersuchte den Wirkungsquerschnitt von ^{159}Tb gegenüber den wirksamen Neutronen und bestimmte ihn zu $0{,}2 \cdot 10^{-26}$ cm^2.

Ferner berichtet er von einer Periode von 3 Monaten, deren Ausgangsisotop einen Wirkungsquerschnitt von $18 \cdot 10^{-26}$ cm^2 hat.

66. *Dy.* In neueren Untersuchungen von Guében (467) und Gurevich u. a. (468) über die bekannte Aktivität des Dysprosiums zeigte sich, daß die Anregung zu 98 Proz. durch die Neutronen der C-Gruppe erfolgt (468) und die obere Grenze des Elektronenspektrums bei 1,57 MeV liegt.

69. *Thu.* Neuninger und Rona hatten früher bei Thulium eine starke Aktivität von mehreren Monaten beobachtet. Etwas später gaben sie (234f) die Halbwertszeit zu $4 \pm 0{,}5$ mo an; von anderer Seite war der Wert von etwa 8 mo gefunden worden.

71. *Lu.* Aus dem Lutetiumisotop ^{175}Lu entsteht durch den (n, γ)-Prozeß das aktive Isotop ^{176}Lu mit der Halbwertszeit von etwa 3,6 h. Der Ausgangskern hat dabei nach den Messungen von Griffiths (532) einen Wirkungsquerschnitt von $17 \cdot 10^{-26}$ cm^2.

72. *Hf.* Hafnium hatte in den früheren Untersuchungen von Hevesy eine sehr lange Periode gezeigt; spätere Messungen (464, 478) ergaben für sie den Wert von 55 ± 7 d.

Angeregt durch die bei Uran gefundene Erscheinung, daß sich der Kern in zwei etwa gleich schwere Teile spalten kann, wurden Anzeichen für einen ähnlichen Vorgang bei

73. *Ta.* Tantal von Magnan (531) und Thibaud u. a. (547) vergeblich und bei

74. *W.* Wolfram von Thibaud (547), Roberts u. a. und Green (538) ebenfalls ergebnislos gesucht.

Dagegen berichtet Magnan (531), bei Wolfram Teilchen beobachtet zu haben, die mit ihrer großen Energie von 25 MeV auf einen solchen „Spaltungsvorgang" hindeuten würden.

75. *Re.* Die beiden bekannten Rheniumperioden wurden von Sinma u. a. (553) in guter Übereinstimmung mit den bisherigen Messungen zu 16 h und 90 h bestimmt. Erstere ist durch das aktive Isotop ^{188}Re verursacht und mit Elektronen von 2,5 MeV verbunden, letztere ist dem Isotop ^{186}Re zuzuschreiben und wird von Elektronen von 1,2 MeV begleitet.

Das Intensitätsverhältnis der langen zur kurzen Periode ist für langsame Neutronen 1,2 und für schnelle 17.

77. *Ir.* Eine der bereits früher beobachteten Iridiumaktivitäten ist die auf das aktive Isotop ^{192}Ir oder ^{194}Ir zurückzuführende Periode von 19 h, deren Ausgangsisotop ^{191}Ir oder ^{193}Ir nach Griffiths (532) gegenüber den Neutronen dieses (n, γ)-Prozesses einen Wirkungsquerschnitt von $20 \cdot 10^{-26}$ cm^2 hat.

Ihr Elektronenspektrum hat nach Guében (463) eine obere Grenze von 2,2 MeV.

78. *Pt.* Auch bei Platin wurden von Roberts u. a. (504), Joliot (648) und Myssowski u. a. (554) keine Anzeichen dafür gefunden, daß sich Pt-Kerne in zwei etwa gleich schwere Teilchen spalten können. Letztere hatten sich einer Photoplatte als Nachweismittel bedient.

79. *Au.* Die bekannte Goldaktivität von 2,7 d als Halbwertszeit wurde von Sizoo u. a. (645) 2,72 d angegeben — des Prozesses

$$^{197}Au\,(n, \gamma)\,^{198}Au$$

hat ein Elektronenspektrum, dessen obere Grenze von Guében (463) zu 1,06 MeV, von Richardson (506) und Sizoo u. a. (645) zu 0,83 MeV und von Libby u. a. (530) zu 0,77 MeV gemessen wurde. Die früheren Werte lagen ebenfalls zwischen 0,78 und 1,1 MeV.

Das Isotop ^{197}Au hat, wie Griffiths (532) berichtet, gegenüber den Neutronen der angegebenen Umwandlung einen Wirkungsquerschnitt von $13 \cdot 10^{-26}$ cm^2.

Richardson (506) bestätigte seine früheren Messungen von 70, 280 und 430 ekV für die auftretenden γ-Strahlen und hält diejenige von 70 ekV für eine K-Strahlung. In guter Übereinstimmung damit beobachteten Sizoo u. a. (645)

γ-Strahlen von 73, 230 und 410 ekV und eine weitere γ-Strahlung von etwa 2,5 MeV.

Letztere gehört möglicherweise zu dem Zerfall

$$^{198}Au + e^- \rightarrow {}^{198}Pt + \gamma ,$$

wobei die Strahlung von 73 ekV als die charakteristische *Pt*-Strahlung zu deuten wäre.

Roberts u. a. (504), Myssowski u. a. (554) und Joliot (648) konnten bei Gold wiederum keine Anzeichen für einen Zerfall von *Au*-Kernen in zwei etwa gleich schwere Bruchstücke finden. Magnan (531) dagegen berichtet von beobachteten Teilchen von 40–67 MeV, die auf das Auftreten eines solchen Prozesses hinweisen würden.

80. *Hg.* In den Versuchen von Roberts u. a. (504) traten keine Teilchen mit genügender Energie auf, um als Produkte des „Spaltungsprozesses" von Quecksilberkernen gedeutet werden zu können. Ebenso ergebnislos waren die Versuche von Joliot (648).

81. *Tl.* Derselbe Tatbestand ergab sich für Thallium nach Roberts u. a. (504) und Thibaud u. a. (547). Joliot (648) dagegen fand anscheinend Anzeichen für Kernspaltungen bei Bildung eines aktiven Isotops großer Halbwertszeit.

Die bei der Aktivierung von Thallium vorliegenden Verhältnisse wurden nicht geklärt. Heyn (458) fand bei schnellen und langsamen Neutronen die bekannte schwache Aktivität von ungefähr 1 h und bei schnellen Neutronen Anzeichen für eine neue Periode von etwa 25 h.

Bekanntlich entsteht über den (n, γ)-Prozeß ein aktives *Tl*-Isotop mit der Halbwertszeit von ungefähr 4 min. Ist hierfür das stabile Isotop ^{203}Tl verantwortlich zu machen, so hat es nach Griffiths (532) einen Wirkungsquerschnitt von $1{,}3 \cdot 10^{-26}$ cm², ist jedoch ^{205}Tl das Ausgangsisotop, so ergibt sich für dieses ein Wirkungsquerschnitt von $0{,}6 \cdot 10^{-26}$ cm².

Majer (480a), der diese schwache Aktivität von etwa 4 min ebenfalls beobachtete, schreibt sie dem aktiven Isotop ^{206}Tl zu.

82. *Pb.* De Vries u. a. (646) fanden bei der Aktivierung von Blei mit schnellen Neutronen folgende Perioden:

1. Von etwa 5 min im Einklang mit einer früheren Messung. Sie ist jedoch wahrscheinlich durch eine Verunreinigung mit *Zn* verursacht.
2. Von etwa 80 min (früherer Wert 1,5 h). Ein aktives *Pb*-Isotop wurde chemisch nachgewiesen. Vermutlich liegt hier ein $(n, 2n)$-Prozeß vor.
3. Von etwa 3 d, und
4. Von etwa 14 d.

Die beiden letzten Perioden sind wahrscheinlich auf Verunreinigungen mit *Au* zurückzuführen.

Während in einem Referat (556) berichtet wird, daß Bretscher Zerplatzungen von Bleikernen in zwei etwa gleich schwere Teile beobachtet hätte, wurden von Green u. a. (538), Joliot (648), Roberts u. a. (504), Jentschke u. a. (555) und Thibaud u. a. (547) keine Anzeichen für diesen Prozeß gefunden.

83. *Bi.* Ebenso negativ liefen die Versuche von letzteren (504) (547) (555) und von Magnan (531) und Myssowski u. a. (554) aus.

90. *Th.* Seitdem zu Anfang des Jahres 1939 die Entdeckung gemacht wurde, daß sich Urankerne unter der Einwirkung von Neutronen in zwei etwa gleich schwere Teile spalten können, ist auch Thorium Gegenstand zahlreicher diesbezüglicher Untersuchungen gewesen, ohne daß die bei seiner Beschießung mit Neutronen vorliegenden Verhältnisse hätten geklärt werden können.

Im Gegenteil deuten die vielen, zum Teil voneinander abweichenden Versuchsergebnisse darauf hin, daß sie noch viel zu unvollständig sind, um zu einem klaren Bild zu führen.

Im Jahre 1934 wurde erstmalig Thorium von Fermi aktiviert und die Perioden von etwa 1 min und 25 min gefunden.

1935 beobachteten Hahn und Meitner die Perioden von 1 min und 12 min, Curie u. a. die von 1; 2,5; 12; 25 min und 3,5 h.

Letztere gaben folgende Zuordnungen:

1 min → *Ra*-Isotop,
2,5 min → *Pa*-Isotop und Abkömmlung des 25-min-Isotops,
12 min → *Ac*-Isotop,
25 min → *Th*-Isotop,
3,5 h → *Ac*-Isotop

mit den Prozessen:

$$^{232}_{90}Th(n,\gamma)\ ^{233}_{90}Th\ \ ^{233}_{90}Th \xrightarrow{25\text{ min}} {}^{233}_{91}Pa \xrightarrow{2{,}5\text{ min}} {}^{233}_{92}U$$

$$^{232}_{90}Th(n,\alpha)\ ^{229}_{88}Ra\ \ ^{229}_{88}Ra \xrightarrow{1\text{ min}} {}^{229}_{89}Ac \xrightarrow{3{,}5\text{ h}} {}^{229}_{90}Th$$

$$^{232}_{90}Th(n,p)\ ^{232}_{89}Ac\ \ ^{232}_{89}Ac \xrightarrow{12\text{ min}} {}^{232}_{90}Th .$$

1936 berichteten Rona u. a. von einer neuen Periode von 42 h, die sie einem *Ac*-Isotop zuschrieben, und ergänzten die zweite Zerfallsreihe zu:

$$^{229}_{88}Ra \xrightarrow{1\text{ min}} {}^{229}_{89}Ac \xrightarrow{3{,}5\text{ h}} {}^{229}_{90}Th \rightarrow {}^{229}_{91}Pa \rightarrow {}^{225}_{89}Ac \xrightarrow{42\text{ h}} {}^{225}_{90}Th .$$

1937 beobachteten Pool u. a. zwei bisher unbekannte Perioden von 5 min und 1,4 h.

1938 untersuchte Meitner eingehend die Thoriumaktivität, berichtete aber von Perioden von 0,8 min, etwa 18 min, etwa 15 min, etwa 3,5 h, etwa 4 h, 20–30 h, 26 min und 24–27 d.

Auf Grund chemischer Versuche werden dazu folgende Prozesse angegeben:

$$^{232}Th(n,\alpha)\,^{229}Ra \qquad ^{229}Ra \xrightarrow[\substack{0{,}8\ \mathrm{m}\\ \sim 15\ \mathrm{m}\\ \sim 4\ \mathrm{h}}]{} {}^{229}Ac \xrightarrow[\substack{\sim 18\ \mathrm{m}\\ \sim 3{,}5\ \mathrm{h}\\ 20-30\ \mathrm{h}}]{} {}^{229}Th$$

$$^{232}Th(n,\gamma)\,^{233}Th \qquad ^{233}Th \xrightarrow[26\ \mathrm{m}]{} {}^{233}Pa \xrightarrow[\sim 25\ \mathrm{d}]{} {}^{233}U\,.$$

Dagegen wurde die bekannte 2,5-min-Periode nicht beobachtet.

Nishina u. a. fanden eine weitere Periode von 24,5 h, die sie durch den Prozeß

$$^{232}_{90}Th(n,\,2\,n)\,^{231}_{90}UY$$

erklärten.

Eine große Zahl der aktiven Isotope sollte also durch einen (n,α)-Prozeß entstehen. v. Droste (480b) fand jedoch keine α-Teilchen, die auf einen solchen Prozeß hingedeutet hätten.

1939 findet Joliot (567) einige kurze Perioden und eine solche von etwa 4 h.

Curie u. a. (566) erhalten das wichtige Ergebnis, daß das 3,5-h-Isotop kein *Ac*-Isotop, sondern wahrscheinlich identisch mit dem bei Uran gefundenen Isotop gleicher Halbwertszeit ist. Diese Tatsache weist im Zusammenhang mit dem bei Uran von Hahn und Straßmann (649, 650) gerade aufgedeckten Prozeß der Kernspaltung darauf hin, daß bei Thorium ein gleicher Prozeß auftritt.

Die Untersuchungen von Frisch (559), Meitner u. a. (560), Fowler u. a. (561, 565), Green u. a. (538), Jentschke u. a. (555) bestätigen diese Vermutung durch Nachweis energiereicher und stark ionisierender Teilchen, wobei gleichzeitig festgestellt wurde, daß eine Herabsetzung der Neutronengeschwindigkeit keine Verstärkung des Effektes bewirkt (561, 565) (559) (555).

Fowler u. a. (565) schätzten die Masse der beobachteten Teilchen auf etwa die Hälfte der Thoriummasse.

Roberts u. a. (504) fanden außerordentlich energiereiche Teilchen (zwischen 75 und 150 MeV) und später (557) solche mit einer Reichweite von 1,2 cm.

Jentschke u. a. (563) maßen die größte Teilchenenergie zu 100 $\pm$ 10 MeV, und

Joliot (567) beobachtete Teilchen von etwa 3 cm Reichweite.

Der Beweis, daß auch bei Thorium Kernspaltungen auftreten, wurde von Hahn und Straßmann (650) auf chemischem Wege dadurch erbracht, daß sie die früher als Radium angesehenen Isotope als Barium identifizierten. Damit muß die oben angegebene dreifache Zerfallsreihe zu:

$$Ba \xrightarrow[\substack{0{,}8\ \mathrm{min}\\ \sim 15\ \mathrm{min}\\ \sim 4\ \mathrm{h}}]{} La \xrightarrow[\substack{\sim 18\ \mathrm{min}\\ \sim 3{,}5\ \mathrm{h}\\ 20-30\ \mathrm{h}}]{} Ce$$

berichtigt werden.

Später (655) stellten sie fest, daß die Halbwertszeit des dritten *Ba*-Isotops 86 min beträgt, und daß ein weiteres *Ba*-Isotop von 300 h existiert.

Es ergibt sich damit:

$$Ba \xrightarrow[\substack{0{,}8\ \mathrm{min}\\ \sim 15\ \mathrm{min}\\ 86\ \mathrm{min}\\ 300\ \mathrm{h}}]{} La \xrightarrow[\substack{\sim 18\ \mathrm{min}\\ \sim 3{,}5\ \mathrm{h}\\ 20-30\ \mathrm{h}}]{} Ce$$

Ein Vergleich mit den bei Uran vorliegenden Verhältnissen zeigt, daß vermutlich bei Thorium und Uran die gleichen *Ba*- und *La*-Isotope auftreten.

Hahn u. a. (655, 658) finden ferner wie bei Uran:

1. ein 2,3-h-Jodisotop, das aus einem *Te*-Isotop von etwa 66 h entsteht (655),
2. ein *Mo*-Isotop von etwa 66 h (655),
3. ein *Cs*-Isotop von etwa 40 sec (658) und
4. ein *Rb*-Isotop von etwa 80 sec (658).

Die bei Thorium vorliegenden Verhältnisse werden in den zusammenfassenden Darstellungen von Hahn u. a. (656, 657) erörtert.

Hier folgt eine Übersicht weiterer Untersuchungen über die Halbwertszeiten und die chemische Natur der Spaltungsprodukte.

Joliot (648) fing die infolge der Kernzerplatzungen auftretenden Rückstoßteilchen auf und untersuchte ihre Aktivität. Es zeigten sich die beiden Perioden von 12 min und 3,5 h. Letztere Aktivität trat auch bei Uran auf und weist auf dasselbe aktive Isotop hin.

Heyn u. a. (574) trennten von aktiviertem Thorium eventuell vorhandenes Alkali, Barium und Strontium ab und fanden in dem Alkaliteil drei Perioden, in dem Barium- sowie Strontiumteil nicht näher bestimmte Aktivitäten.

Bretscher u. a. (570) beobachteten eine große Zahl von Perioden; darunter

die von 80 min, 14 h und 12 d, deren aktive Isotope die chemischen Eigenschaften der seltenen Erden haben und wahrscheinlich zu Lanthan gehören,
die von 6 h eines aktiven Bariumisotops,
die von 70 min, 4,5 d und etwa 11 h, deren aktive Bestandteile chemisch wie die Erdmetalle reagieren,
die von 2,5 h und 22 h aktiver Bromisotope, und zwei schwache Aktivitäten von einigen Stunden und einigen Tagen mit aktiven Selenisotopen.

Aten u. a. (568) fanden die Perioden von:

17 min mit einem aktiven *Rb*-Isotop,
87 min mit einem aktiven *Ba*-Isotop,
10 min mit einem aktiven *Cs*-Isotop und
33 min mit einem aktiven *Cs*-Isotop,

während keine Anzeichen für ein aktives *Sr*-Isotop vorlagen. Sie berichten ferner, daß aktive Edelgasisotope entstehen und möglicherweise mit denen bei Uran auftretenden identisch sind.

Dodson u. a. (572) wiesen aktive Jodisotope mit den Halbwertszeiten von etwa 45 min und 12 h chemisch nach.

Langsdorff (573) konnte mehrere aktive Edelgasisotope auffinden, darunter

1. ein 3-h-Kryptonisotop, das in ein
2. 18-min-Rubidiumisotop zerfällt. Letzteres wurde chemisch nachgewiesen und ist wahrscheinlich ^{88}Rb,
3. eine Periode von etwa 5,5 d.

Meitner (569) stellte fest, daß einige Spaltungsprodukte von Thorium sich in chemischer Hinsicht so verhalten wie diejenigen, die bei der Aktivierung von Uran auftreten und früher als Transurane angesehen worden waren. Ferner wurden die Perioden von 40 min und 14,5 h beobachtet.

Bjerge u. a. (558) und Frisch (660) nahmen die Zerfallskurve des Gemisches sämtlicher Spaltungsprodukte sowohl des Urans als auch des Thoriums auf und fanden, daß sie in beiden Fällen fast vollkommen gleich ist.

Ladenburg u. a. (564) bestimmten für Neutronen von 2,4 MeV den Wirkungsquerschnitt des stabilen *Th*-Isotops ^{232}Th gegenüber dem Spaltungsprozeß zu $1 \cdot 10^{-25}$ cm². Das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte von Thorium und Uran bleibt konstant bei einer Änderung der Neutronenenergie zwischen 2,1 und 3,1 MeV.

Schließlich fanden Roberts u. a. (571), daß auch die Neutronenemission des Thoriums fast dieselbe Periode hat wie die des Urans, jedoch ist ihre Intensität bei Thorium etwa ein Viertel derjenigen bei Uran.

91. *Pa.* v. Große u. a. (575) beobachteten auch bei Bestrahlung von Protaktinium Anzeichen für das Auftreten von Spaltungsprozessen. Da diese Anzeichen nur bei Bestrahlung mit schnellen Neutronen (jedoch < 2 MeV) vorhanden waren, konnten sie nicht durch eine Verunreinigung von Uran verursacht sein. Ebenso scheidet die Möglichkeit einer Verunreinigung durch Thorium aus, da die Zahl der Spaltungsprozesse hier etwa 30—40mal größer war als bei Thorium.

Ihr Ergebnis wird von Bohr u. a. (647) an Hand des Tröpfchenmodells diskutiert.

Zwei Spaltungsprodukte sind gemäß chemischer Untersuchungen aktive Rubidium- bzw. Cäsiumisotope mit den Halbwertszeiten von 18 bzw. 30 min, wie bei Uran und Thorium.

92. *U.* Der Jahreswechsel 1938/39 war auch ein Wendepunkt für die Erforschung der durch Neutronen erreichbaren Aktivierung des Urans. Bis dahin waren die beobachteten Perioden denjenigen aktiven Isotopen, die durch die bekannten (n, α)-, (n, p)-, (n, γ)- und $(n, 2n)$-Prozesse aus den Uranisotopen entstehen konnten und ihren Zerfallsprodukten zugeschrieben wurden. Das führte notwendigerweise zu der Vermutung, daß hierbei Isotope schwererer Elemente als Uran, die „Transurane", auftreten.

Dann wurde die entscheidende Entdeckung gemacht, daß der Urankern fähig ist, in zwei etwa gleich schwere Teile zu zerplatzen, wobei die Spaltungsprodukte radioaktiv sind. Sie hatte eine große Zahl von Untersuchungen zur Folge, deren Ergebnisse jedoch noch recht uneinheitlich sind.

Ein chronologischer Überblick über die Entwicklung unserer Kenntnisse von der künstlichen Uranaktivität erscheint daher am zweckmäßigsten.

1934 entdecke Fermi an dem Auftreten der Perioden von 15 sec, 40 sec, 13 und 100 min die Möglichkeit, auch das schwerste Element, Uran, durch Neutronen zu aktivieren. Wie bei allen schweren Elementen, so wurde auch hier, besonders bei dem 23-min-Isotop, angenommen, daß der (n, γ)-Prozeß für diese Aktivitäten verantwortlich zu machen wäre. Zusammen mit der Beobachtung der Emission von Elektronen würde dies bedeuten, daß ein instabiler Urankern entsteht, und daß dieser unter Aussendung eines Elektrons in einen Kern des Elementes 93 übergeht.

Dieses überraschende Ergebnis schien durch chemische Untersuchungen, auch von anderer

Seite im Laufe der nächsten Jahre bestätigt zu sein. Anfänglich wurden jedoch verschiedentlich Zweifel an der Beweiskraft der chemischen Untersuchungen laut.

1935. Hahn und Meitner maßen die Halbwertszeiten der Fermischen Aktivitäten zu 10 sec, 40 sec und 16 min. Die frühere Periode von 100 min ist nicht einheitlich, sondern ein Gemisch der beiden Perioden von 50–70 min und 2–3 d. Außerdem fanden sie eine neue Aktivität von 12 h Halbwertszeit.

Auch sie halten die Existenz von Transuranen für wahrscheinlich und geben dementsprechende Umwandlungsprozesse an.

1936 beobachteten Hahn und Meitner einige neue Perioden, nämlich:

1. von 4 min mit einem aktiven *Th*-Isotop,
2. von 24 min mit einem aktiven *U*-Isotop und
3. von 2,2 min, gedeutet durch ein *Eka-Re*-Isotop, aus dem die bekannte 59-min-Periode (vorher zu 50–70 min angegeben) entsteht. Aus letzterer entsteht möglicherweise weiterhin die ebenfalls bekannte 3-d-Periode.

Zur Deutung all dieser Ergebnisse behalten sie die früher angegebenen Prozesse bei und erhalten somit folgendes Bild:

$$\text{I. } {}^{238}U\,(n,\alpha)\;{}^{235}Th$$
$${}^{235}Th \xrightarrow{4\ \text{min}} {}^{235}Pa \rightarrow {}^{235}U \xrightarrow{24\ \text{min}} {}^{235}Eka\text{-}Re$$
$$\text{II. } {}^{238}U\,(n,2n)\,{}^{237}U$$
$${}^{237}U \xrightarrow{40\ \text{s}} {}^{237}Eka\text{-}Re \xrightarrow{16\ \text{min}} {}^{237}Eka\text{-}Os \xrightarrow{12\ \text{h}} {}^{237}Eka\text{-}Ir$$
$$\text{III. } {}^{238}U\,(n,\gamma)\;{}^{239}U$$
$${}^{239}U \xrightarrow{10\ \text{s}} {}^{239}Eka\text{-}Re \xrightarrow{2{,}2\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Os \xrightarrow{59\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Ir \xrightarrow{3\ \text{d}} .$$

Es zeigte sich, daß der Prozeß I trotz der Abspaltung eines α-Teilchens vorwiegend durch langsame Neutronen angeregt wird.

1937 bestätigten Pool u. a. mit der Beobachtung der Perioden von 23 min und 13 h zwei frühere Versuchsergebnisse. Außerdem fanden sie eine neue Aktivität mit der Halbwertszeit von 4 h, die mit der von Curie und Savitch beobachteten Periode von 3,5 h identisch sein wird.

Letztere ordneten die neue Periode dem ersten der drei von Hahn und Meitner angegebenen Prozesse zu:

$${}^{238}U\,(n,\alpha)\,{}^{235}Th$$
$${}^{235}Th \rightarrow {}^{235}Pa\,,$$

und zwar mit um so größerer Berechtigung, als Meitner, Hahn und Straßmann die früher dem ${}^{235}Th$ zugeschriebene Periode von 4 min nicht mehr beobachten konnten und das 23-min-Uran-Isotop als Ergebnis eines (n,γ)-Prozesses ansetzten.

Auf Grund weiterer eingehender Untersuchungen, wobei die frühere 10–12-h-Periode zu 5,7 h und die 3-d-Periode zu 66 h gemessen wurde, ersetzten letztere die bisherigen Umwandlungsprozesse durch die folgenden:

$$\text{I. } \nearrow\ {}^{239}U \xrightarrow{23\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Re$$
$$\text{II. } {}^{238}U\,(n,\gamma)\,{}^{239}U \longrightarrow {}^{239}U \xrightarrow{40\ \text{s}} {}^{239}Eka\text{-}Re \xrightarrow{16\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Os \xrightarrow{5{,}7\ \text{h}} {}^{239}Eka\text{-}Ir$$
$$\text{III. } \searrow\ {}^{239}U \xrightarrow{10\ \text{s}} {}^{239}Eka\text{-}Re \xrightarrow{2{,}2\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Os \xrightarrow{59\ \text{min}} {}^{239}Eka\text{-}Ir \xrightarrow{3\ \text{d}} {}^{239}Eka\text{-}Pt \longrightarrow$$
$$\xrightarrow{2{,}5\ \text{h}} {}^{239}Eka\text{-}Au\,,$$

wobei also die Uran- und *Eka-Re*-Isotope dreifach isomer sein sollten.

1938. v. Droste (480b) versuchte, den Prozeß

$$U\,(n,\alpha)\,Th$$

durch den Nachweis der α-Teilchen sicherzustellen, konnte jedoch keine α-Teilchen beobachten.

Hahn und Meitner befaßten sich mit der 3,5-h-Periode und stellten fest, daß sie ein Gemisch von sechs Perioden ist, die am besten durch die Zerfallsreihen

$${}^{231}Ra_1 \xrightarrow{\sim 25\ \text{min}} {}^{231}Ac_1 \xrightarrow{\sim 40\ \text{min}} {}^{231}Th_1$$
$${}^{231}Ra_2 \xrightarrow{\sim 110\ \text{min}} {}^{231}Ac_2 \xrightarrow{\sim 4\ \text{h}} {}^{231}Th_2$$
$${}^{231}Ra_3 \xrightarrow{\text{mehrere d}} {}^{231}Ac_3 \xrightarrow{\sim 60\ \text{h}} {}^{231}Th_3$$

erklärt werden können.

Ferner fanden sie die Periode von 60 d, durch die möglicherweise der Prozeß II zu:

$$^{239}Eka\text{-}Os \xrightarrow{5{,}7\,h} {}^{239}Eka\text{-}Ir \xrightarrow{60\,d} {}^{239}Eka\text{-}Pt$$

ergänzt wird.

Curie und Savitch untersuchten eingehend die chemische Natur des 3,5-h-Isotops. Während sie dieses Isotop zuerst für ein solches von Aktinium oder von einem Transuran hielten, dessen chemische Eigenschaften von denen der Rhenium- und Platinhomologe verschieden sind, fanden sie später, daß es in seinem chemischen Verhalten dem Lanthan sehr ähnlich ist.

Das mit dieser Periode verbundene β-Spektrum hat dabei eine obere Grenze von etwa 3,2 MeV (469).

Hahn und Straßmann (470) fanden dann zwei andere lanthanähnliche und drei bariumähnliche aktive Isotope.

1939 wird durch die umfangreichen chemischen Untersuchungen von Hahn und Straßmann (649, 650) zur Gewißheit, daß sich aktive Barium- und Lanthanisotope unter den Produkten des mit Neutronen bestrahlten Urans befinden. Dadurch wurde die Fähigkeit des Urankerns, in zwei mittelschwere Kerne zu zerplatzen, bewiesen.

Meitner und Frisch (560) erklären diese Beobachtungen auf Grund des Bohrschen „Tröpfchenmodells" der schweren Kerne und schätzen die dabei freiwerdende Energie auf etwa 200 MeV. Die Spaltungsprodukte werden also eine außerordentlich hohe Energie aufweisen.

Bohr (586) vermutet, daß der Spaltungsprozeß bei langsamen Neutronen durch ^{235}U, bei schnellen Neutronen durch ^{238}U verursacht wird.

Frisch (559) konnte erstmalig das Auftreten schwerer, sehr stark ionisierender Teilchen, deren Atomgewicht mindestens 70 beträgt, experimentell nachweisen. Ihre Zahl wächst bei Abbremsung der Neutronen.

Die weiteren experimentellen Beweise für das Auftreten schwerer Teilchen sind sehr zahlreich:

Joliot (567) findet schwere Teilchen mit einer Reichweite von 3 cm und

Fowler u. a. (561) stark ionisierende Teilchen, deren Zahl durch Verlangsamung der Neutronen steigt.

Fowler u. a. (565) beobachten Teilchen sehr starker Ionisation, deren Zahl sich bei Verwendung langsamer Neutronen verdoppelt. Sie werden als Teilchen mit halber Uranmasse angesehen.

Green u. a. (538) finden ebenfalls stark ionisierende Teilchen, besonders bei thermischen Neutronen.

Roberts u. a. (504) beobachten außerordentlich energiereiche Teilchen zwischen 75 und 150 MeV.

Jentschke u. a. (555) geben an, daß ihre Teilchen eine Energie von 61 und 98 MeV, eine Reichweite von 1,5 und 2 cm und die Massen 139 (*Ba*) und 87 haben.

Joliot (583) gibt ein solches schweres Teilchen in einer schönen Wilson-Kammer-Aufnahme wieder.

Corson u. a. (588) beobachten in der Wilsonkammer zwei entgegengesetzte Spuren schwerer Teilchen von demselben Entstehungsort aus und finden außerdem Anzeichen für das Auftreten von mehr als zwei Teilchen bei einem Spaltungsprozeß.

McMillan (589) mißt die Reichweite der schweren Teilchen zu 2,2 cm,

Roberts u. a. (557) zu 1,05 cm.

Anderson u. a. (590) finden Teilchen mit etwa 90 MeV. Die Wirksamkeit der langsamen Neutronen für den Spaltungsprozeß folgt dem 1/v-Gesetz.

Thibaud u. a. (547) beobachten Teilchen mit etwa 65 MeV, später (584) mit etwa 50 MeV, von denen jedes etwa 15 positive Ladungen hat.

v. Droste (593) stellt fest, daß die Teilchen acht Gruppen bilden, die sich durch Mitteln auf die früheren vier Gruppen mit 33, 56, 71 und 95 MeV reduzieren lassen. Vorausgesetzt, daß ein Teilchen von 33 MeV und ein solches von 95 MeV, ebenso ein Teilchen von 56 MeV und ein solches von 71 MeV zusammengehören, ergeben sich die Massen von 62 und 177 bzw. 101 und 137. Bei Zusammenfassung der vier Gruppen in nur zwei ergeben sich die Massen von 60 und 175. Die beobachtete freiwerdende Energie ist 130 MeV gegenüber dem theoretisch möglichen Wert von etwa 180 MeV. Die Deutung dieser Differenz von 50 MeV findet sich an anderer Stelle.

Magnan (531) findet schwere Teilchen, deren Energie zwischen 49 und 98 MeV gemessen wird.

Booth u. a. (604) beobachten, daß die Teilchen wahrscheinlich die Energien von 72 und 100 MeV haben und berechnen daraus die Massen 96 und 140; sie erhalten dabei zwei fast gleich starke Gruppen von 1,5 und 2,2 cm Reichweite (605).

Buk u. a. (579) schätzen, daß das als Bromisotop nachgewiesene Teilchen eine anfängliche Ladung von etwa 30 Elementarquanten hat.

Haxel (578) beobachtet ebenfalls zwei Teilchengruppen mit folgenden Daten:

	Gruppe 1	Gruppe 2
Energie der Teilchen	74 MeV	52 MeV
Masse der Teilchen	99	140
Reichweite in Luft	1,8 ± 0,2 cm	1,5 ± 0,2 cm
Kernladung der Teilchen	38	54

Jentschke u. a. (563) beobachten wiederum zwei Teilchengruppen mit 1,2 und 2,0 cm Reichweite bzw. 57 und 91 MeV. (Die größte Teilchenenergie war 108 ± 11 MeV.) Die gesamte frei werdende Energie beträgt demnach 148 MeV; 60 MeV stehen somit noch als Anregungsenergie zur Verfügung. Aus dem Verhältnis der Energien der Teilchengruppen errechnen sich die Massen zu 90 und 144. Die Spaltung in Teilchen dieser Massen ist also am häufigsten. Auf dem ersten Teil ihrer Bahn werden die Teilchen schätzungsweise eine Ladung von 15–20 Elementarquanten haben.

Die Energie der schweren Teilchen liegt nach allen bisherigen Messungen in der Größenordnung des von Meitner und Frisch (560) vorausgesagten Wertes. Henderson (622) bestätigt den Energiebetrag auf andere Art. Es wird die in 13 g metallischem Uran durch Bestrahlung mit langsamen Neutronen hervorgerufene Erwärmung gemessen und daraus die durch die Spaltung eines einzigen Urankerns frei werdende Energie zu 175 ± 18 MeV berechnet.

Eine andere interessante Erscheinung bei dem Spaltungsprozeß ist die Emission von Neutronen. Das Isotop ^{236}U, das als dasjenige angesehen wird, das eine besondere Neigung zum Zerplatzen besitzt, hat einen Überschuß von 52 Neutronen und möge sich, wie Jentschke u. a. beobachteten, beispielsweise in ein $^{90}_{38}Sr$ und ein $^{144}_{54}Xe$-Isotop spalten. Ersteres hat einen Überschuß von 14, letzteres von 36 Neutronen. Von den stabilen *Xe*-Isotopen hat $^{136}_{54}Xe$ mit einem Überschuß von 28 Neutronen den größten Neutronenüberschuß. Das aus dem Spaltungsprozeß resultierende *Xe*-Isotop hat also zumindest 8 Neutronen zuviel. Es ist also zu erwarten, daß entweder ein überschüssiges Neutron unter Emission eines Elektrons in ein Proton verwandelt wird, wobei sich der Neutronenüberschuß um 2 vermindert, oder daß Neutronen emittiert werden.

Beide Fälle treten ein, wie aus der Beobachtung von radioaktiven Spaltungsprodukten und von Neutronen ohne weiteres ersichtlich ist.

Über die Neutronenemission liegen im einzelnen folgende Untersuchungen vor:

Halban u. a. (592), Magnan (580), Haenny u. a. (582), Dodé u. a. (581) und Roberts u. a. (576) weisen das Auftreten von Neutronen nach, die aber nach letzteren (576) (581) keineswegs auf einen Kernphotoeffekt der beobachteten γ-Strahlen zurückgeführt werden können. Die Neutronen haben eine Energie von etwa 0,5 MeV (576) bzw. mehr als 2 MeV (581).

Anderson u. a. (596) und Szilard u. a. (597) beobachten schnelle Neutronen unter der Einwirkung langsamer Neutronen auf Uran. Nach letzteren werden pro zerplatzendem Urankern zwei Neutronen, nach neueren Versuchen jedoch nur etwa ein Neutron emittiert.

Halban u. a. (599) errechnen die Zahl der pro Kernspaltung emittierten Neutronen zu 3,5 ± 0,7.

Michiels u. a. (603) finden experimentell, daß mehr Neutronen emittiert als absorbiert werden.

v. Droste u. a. (608) geben an, daß durchschnittlich 1–2 Neutronen pro Kernspaltung ausgesandt werden, deren Energie erheblich größer als 2,5 MeV ist.

Rotblat (609) bestätigt experimentell, daß für die Neutronenemission Kernspaltungen, nicht aber $(n, 2n)$-Prozesse verantwortlich zu machen sind. Dabei sollen pro Kernspaltung 6 Neutronen emittiert werden.

Halban u. a. (615) messen aus der Rückstoßenergie von 2,5 MeV, die von den Neutronen auf Sauerstoffkerne übertragen werden, daß die Neutronenenergie mindestens 11 MeV beträgt.

Anderson u. a. (621) und Zinn u. a. (623) berichten, daß bei Verwendung thermischer Neutronen 1,2 bzw. 2,3 Neutronen auf eine Kernspaltung entfallen.

Trotz mehrerer Arbeiten herrscht über die Zeitkonstante der Neutronenemission noch Unklarheit.

Roberts u. a. (557) beobachten eine Neutronenemission mit der Periode von 12,5 ± 3 sec und eine γ-Emission gleicher Halbwertszeit. Die γ-Strahlung ist aber wahrscheinlich nicht die Ursache der Neutronenemission. Später (576) finden sie mehrere (wahrscheinlich 3) längere Perioden für γ-Strahlen, aber nicht für Neutronen.

Booth u. a. (600) berichten von zwei Neutronenperioden von 10–15 sec und etwa 45 sec. Die γ-Strahlen können ebenfalls in die beiden obigen Perioden und in einige längere aufgeteilt werden.

v. Droste u. a. (608) weisen darauf hin, daß die Periode der Neutronenemission von 10 bis 15 sec mit der β-Periode eines aus Uran stammenden Kerns übereinstimmt, und daß folglich anzunehmen ist, daß die Neutronen von einem Kernbruchstück stammen. Sie selbst finden keine irgendwie verzögerte Neutronenemission.

Booth u. a. (613) berichten auch hier von den Perioden in der Neutronenemission.

Gibbs u. a. (619) können dagegen später als 10^{-3} sec nach Beendigung der Bestrahlung keine Neutronen beobachten.

Mouzon u. a. (620) kommen zu dem Ergebnis, daß die meisten γ-Strahlen bei den Zerplatzungen augenblicklich entstehen. Jedoch bestehen Anzeichen für eine zeitliche Abklingung dieser Strahlen.

Die Neutronenemission erfordert selbstverständlich eine bestimmte Energie, allein schon, um die Bindung der Neutronen an den ursprünglichen Kern aufzuheben. Bei einer Bindungsenergie von etwa 8 MeV pro Neutron kann die Emission von einigen Neutronen schon bewirken, daß ein erheblicher Unterschied zwischen dem theoretisch in einem Spaltungsprozeß freiwerdenden Energiebetrag und dem sich aus der Energie der beiden Spaltungsprodukte ergebenden Betrag auftritt. In den Untersuchungen von v. Droste (593) und von Jentschke (563) betrug dieser Unterschied 50 bzw. 60 MeV.

Da der Spaltungsprozeß vorwiegend durch langsame Neutronen bewirkt wird, wäre es denkbar, daß solche Prozesse auch in der Natur vorkommen. Die ausführlichen Betrachtungen von Libby (562) ergeben jedoch, daß natürliche Spaltungen des Urankerns unwahrscheinlich sind.

Kennedy u. a. (602) untersuchen die mit den Spaltungsprozessen verbundene β-Teilchenemission und geben an, daß in wenigstens 90 Proz. aller derartigen Prozesse Elektronen mit mehr als 1 MeV nicht emittiert werden. Es wurden auch keine einzelnen β-Teilchen mit mehr als 10 MeV beobachtet.

Mouzon u. a. (661) finden dagegen zahlreiche β-Teilchen in dem Energiebereich von 2,2–9 MeV.

Die Entdeckung, daß die aktiven Bestandteile der Uranaktivität vornehmlich bei den mittelschweren Elementen zu suchen sind, hat die Untersuchungen erheblich erleichtert und eine große Zahl von Arbeiten zur Folge gehabt. Die Ergebnisse haben offenbart, daß die Umwandlungsmöglichkeiten der Urankerne außerordentlich zahlreich sind, aber keineswegs zu einer restlosen Klärung der bei Uran vorliegenden Verhältnisse ausreichen. Dadurch ist andererseits eine einheitliche Stellungnahme zu den Arbeiten und ihren Ergebnissen erschwert. Eine Ausnahme machen die eingehenden Untersuchungen von Hahn und Straßmann. Jede von ihnen schließt sich in ihrer Problemstellung an die vorhergehende an, ihre Gesamtheit bildet bereits ein festes Fundament. Aus diesen Gründen erscheint es am zweckmäßigsten, nur über diese Arbeiten zusammenhängend zu berichten, wobei auf die zusammenfassenden Darstellungen von Hahn und Straßmann (656, 657) hingewiesen wird, und im Anschluß an sie die große Zahl der anderen Arbeiten in möglichst chronologischer Folge zu referieren.

Hahn und Straßmann (649) untersuchen eingehend die mit den Radiumisotopen und ihren Zerfallsprodukten, den Aktiniumisotopen, verbundenen Aktivitäten.

Sie bestätigen die bisherigen drei *Ra*-Isotope und messen ihre Zerfallszeiten genauer zu

$$14 \pm 2 \text{ min}; \; 86 \pm 6 \text{ min und } 250\text{–}300 \text{ h}.$$

Die früher nur geschätzten Halbwertszeiten der *Ac*-Isotope werden zu

$$2{,}5 \text{ h}; \; \text{mehreren d}; \; < 40 \text{ h}$$

angegeben.

Außerdem tritt ein weiteres *Ac*-Isotop von < 30 min auf, das ebenfalls von einem *Ra*-Isotop abstammt. Da letzteres nicht beobachtet werden konnte, muß seine Halbwertszeit < 1 min sein.

Gleichzeitig zeigte es sich, daß die bisherigen Zuordnungen der *Ac*-Isotope zu den *Ra*-Isotopen berichtigt werden müssen und daß die *Ra*-Isotope wahrscheinlich solche des Bariums und die *Ac*-Isotope solche des Lanthans sind.

Die letztere Vermutung wird durch ihre eingehenden chemischen Untersuchungen (650) zur Gewißheit. Damit ergeben sich folgende Zusammenhänge:

$$Ba \xrightarrow{<1\text{ min}} La \xrightarrow{<30\text{ min}} Ce$$

$$Ba \xrightarrow{14\text{ min}} La \xrightarrow{\sim 2,5\text{ h}} Ce$$

$$Ba \xrightarrow{86\text{ min}} La \xrightarrow{\text{mehrere d}} Ce$$

$$Ba \xrightarrow{250-300\text{ h}} La \xrightarrow{<40\text{ h}} Ce\,.$$

Bei Beschießung von Barium mit Deutonen und Neutronen tritt ein *Ba*-Isotop von etwa 85 min auf, dem das Atomgewicht 139 zugeschrieben wird und das in das stabile *La*-Isotop ^{139}La zerfällt. Auf Grund der übereinstimmenden Halbwertszeiten ist anzunehmen, daß das aus Uran stammende 86-min-*Ba*-Isotop identisch mit dem Isotop ^{139}Ba ist. Dann allerdings kann es nicht zutreffen, daß aus dem *Ba*-Isotop des Urans ein *La*-Isotop von mehreren Tagen entsteht.

Das *La*-Isotop von weniger als 40 h ist möglicherweise identisch mit dem *La*-Isotop ^{140}La von 31–46 h, das bei Beschießung von Lanthan mit Deutonen und Neutronen gefunden wurde.

Bei einer Versuchsanordnung, in der durch die bestrahlte Uranlösung ein Luftstrom geschickt, der Luftstrom über Adsorptionskohle geleitet und diese auf Radioaktivität untersucht wird, finden Hahn u. a. (651) später das 86-min- und 300-h-*Ba*-Isotop wieder. Damit ist sichergestellt, daß die beiden *Ba*-Isotope über Zäsium aus Xenon entstehen.

Für das 14-min-*Ba*-Isotop wird eine derartige Beobachtung – auch später (654) – nicht gemacht.

Das für das 86-min-*Ba*-Isotop verantwortliche *Xe*-Isotop wird eine Halbwertszeit in der Größenordnung von Sekunden haben.

Nachdem früher (650) neben einem aktiven Edelgasisotop ein aktives Alkaliisotop beobachtet wurde, werden hier drei aktive Alkali-, wahrscheinlich Zäsiumisotope von < 8 min, ~ 35 min und von längerer Halbwertszeit nachgewiesen.

In einer weiteren Untersuchung (654) werden die beiden ersteren Isotope bestätigt, einwandfrei als *Cs*-Isotope identifiziert und ihre Halbwertszeiten zu 6 und 33 min gemessen. Sie sind die Ausgangsisotope der 86-min- und 300-h-*Ba*-Isotope, und zwar gilt:

$$Cs\ (6\ \text{min}) \rightarrow Ba\ (86\ \text{min})$$

und

$$Cs\ (33\ \text{min}) \rightarrow Ba\ (300\ \text{h}).$$

Hahn und Straßmann schätzen, daß das *Xe*-Isotop, aus dem das 33-min-*Cs*-Isotop hervorgeht, eine Halbwertszeit von etwa 15 min haben wird.

Zusammenfassend bestehen also folgende Zusammenhänge:

$$^{139}_{54}Xe \xrightarrow{?} {}^{139}_{55}Cs \xrightarrow{6\ \text{min}} {}^{139}_{56}Ba \xrightarrow{86\ \text{min}} {}^{139}_{57}La\ (\text{stabil})$$

und

$$_{54}Xe \xrightarrow{15\ \text{min}} {}_{55}Cs \xrightarrow{33\ \text{min}} {}_{56}Ba \xrightarrow{300\ \text{h}} {}_{57}La \xrightarrow{36\ \text{h}} {}_{58}Ce\,?$$

Der genaueren Deutung harren noch die beiden Zerfallsreihen:

$$Ba \xrightarrow{<1\ \text{min}} La \xrightarrow{<30\ \text{min}} Ce$$

und

$$Ba \xrightarrow{14\ \text{min}} La \xrightarrow{\sim 2{,}5\ \text{h}} Ce$$

und das *La*-Isotop von mehreren Tagen.

Später (658) finden Hahn und Straßmann ein weiteres *Cs*-Isotop von ~ 40 sec bei Überleitversuchen, womit gleichzeitig die Existenz eines kurzlebigen *Xe*-Isotops bewiesen ist.

Alle Anzeichen deuten darauf hin, daß das 14-min-*Ba*-Isotop ein primäres Bruchstück ist. In diesem Fall müßte das andere, gleichzeitig entstehende Bruchstück ein *Kr*-Isotop sein.

Hahn u. a. (650) finden Anzeichen für ein solches Edelgasisotop, da sie in ihren Versuchen mit dem Luftstrom ein Strontiumisotop finden, das nur aus Krypton über Rubidium entstanden sein kann.

Später (654) bestätigen sie ein von Segré beobachtetes *Kr*-Isotop von 3 h, das anscheinend in das bekannte, bei Beschießung von Strontium oder Rubidium mit Neutronen auftretende *Rb*-Isotop ^{88}Rb von 17 min übergeht. Letzteres zerfällt in das stabile *Sr*-Isotop ^{88}Sr, kann also nicht für das beobachtete aktive *Sr*-Isotop verantwortlich sein.

Es ist also folgende Kernspaltung zu vermuten:

$$\begin{array}{ccccc} _{92}U + n & \longrightarrow & ^{88}_{36}Kr & + & _{56}Ba \\ & & \downarrow 3\ \text{h} & & \downarrow 14\ \text{min} \\ & & ^{88}_{37}Rb & & _{57}La \\ & & \downarrow 17\ \text{min} & & \downarrow \sim 2{,}5\ \text{h} \\ & & ^{88}_{38}Sr & & _{58}Ce\,? \end{array}$$

Ungeklärt ist somit nur noch die Reihe

$$Ba \xrightarrow{<1\ \text{min}} La \xrightarrow{<30\ \text{min}} Ce$$

und die Stellung des *La*-Isotops von mehreren Tagen.

Später (658) finden Hahn und Straßmann ein weiteres *Rb*-Isotop von ~ 80 sec, womit gleichzeitig das Vorhandensein eines kurzlebigen *Kr*-Isotops sichergestellt ist.

Lieber (653) untersucht die Bestrahlungsprodukte auf aktive Strontiumisotope hin und findet auch solche von etwa 7 min, 6 h und etwa 54 d.

Die beiden ersteren werden wahrscheinlich Massen haben, die größer als 90 sind.

Das 6-h-Isotop zerfällt in ein Yttriumisotop – womit eine Beobachtung von Hahn u. a. (650) bestätigt wird –, dessen Halbwertszeit 3,5 h beträgt, und das 54-d-Isotop ist wahrscheinlich identisch mit dem bei Beschießung von Strontium mit Deutonen auftretenden Isotop ^{89}Sr von 55 d.

Zwischen diesen Isotopen besteht folgender Zusammenhang:

$$Sr \xrightarrow{7\ \text{min}} Y$$

$$Sr \xrightarrow{6\ \text{h}} Y \xrightarrow{3{,}5\ \text{h}} Zr$$

$$^{89}_{38}Sr \xrightarrow{54\ \text{d}} {}^{89}_{39}Y\ (\text{stabil}).$$

Hahn und Straßmann (658) stellen dann fest, daß die beiden *Sr*-Isotope von ~ 6 h und ~ 54 d keine primären Spaltprodukte sind, sondern aus Krypton über Rubidium entstehen. Die betreffenden *Kr*- und *Rb*-Isotope wurden noch nicht gefunden.

Nach der Entdeckung der Fähigkeit des Urankerns, in zwei mittelschwere Kerne aufzuspalten, erschien es möglich, daß die „Transurane" *Eka-Re, Eka-Os, Eka-Ir* und *Eka-Pt* Isotope der Elemente Masurium, Ruthenium, Rhodium und Palladium sind. Die Untersuchungen von Hahn u. a. (650) zeigen jedoch, daß die Transurane weder den genannten Elementen, noch jenen von Gallium bis Selen oder dem Silber zugeschrieben werden können.

Später (652) finden sie jedoch, daß das früher als *Eka-Pt* angesehene 2,5-h-Isotop ein Jodisotop mit der genaueren Halbwertszeit von 2,3 h ist.

Das bisherige *Eka-Ir*-Isotop von 66 h besteht aus zwei Komponenten gleicher Halbwertszeit. Die eine Komponente ist ein *Te*-Isotop, das in das 2,3-h-Jodisotop übergeht, die andere ist ein *Mo*-Isotop und wahrscheinlich identisch mit dem bekannten, bei Beschießung von Molybdän mit Deutonen oder Neutronen entstehenden *Mo*-Isotop von 67 h, das in das 6,6-h-*Ma*-Isotop zerfällt.

In einer anschließenden Untersuchung (654) werden drei bereits von anderer Seite gefundene Jodisotope bestätigt. Sie haben die Halbwertszeiten von 57 min, 18,5 h und 8 d und gehen alle aus *Te*-Isotopen hervor. Zusammen mit dem oben erwähnten 2,3-h-Jodisotop ergibt sich:

$$Te \xrightarrow{43\ \text{min}} J \xrightarrow{57\ \text{min}} Xe\,?$$

$$Te \xrightarrow{66\ \text{h}} J \xrightarrow{2{,}3\ \text{h}} Xe\,?$$

$$Te \xrightarrow{1\ \text{h}} J \xrightarrow{18{,}5\ \text{h}} Xe\,?$$

$$Te \xrightarrow{30\ \text{h}} J \xrightarrow{8\ \text{d}} Xe\,?$$

In Bestätigung anderweitiger Beobachtungen finden Hahn u. a. (654) die beiden schwachen, durch Bromisotope verursachten Aktivitäten von 35 min und etwa 230 min. Versuche, aktives Selen als Muttersubstanz des aktiven Broms nachzuweisen, waren vergeblich.

Der Vergleich der aus Uran und Thorium stammenden *Ba*-Isotope und ihrer Folgeprodukte läßt vermuten, daß die entsprechenden Isotope identisch sind. Allerdings ist das $<$ 1-min-*Ba*-Isotop aus Uran noch nicht nachgewiesen worden.

Weiterhin liegen folgende Versuchsergebnisse vor:

Curie und Savitch (566) finden weiterhin mindestens drei radioaktive Elemente mit den chemischen Eigenschaften der seltenen Erden und ein aktives Alkali mit der Halbwertszeit von 18 min.

Abelson (587) findet, daß die bekannte 3-d-Periode von einem chemisch nachweisbaren aktiven Tellurisotop herrührt und von der 2,5-h-Periode eines aktiven Jodisotops abstammt. Dabei wird die *K*-Strahlung des Jods emittiert.

Thibaud u. a. (584) weisen chemisch aktive Bromisotope mit kurzer Halbwertszeit und mit 1,5 h und 20 h nach. Sie geben für die Spaltungsprodukte folgendes Zerfallsschema an:

$$^{88}_{35}Br \rightarrow Kr \rightarrow Rb \rightarrow {}^{88}Sr$$

$$^{151}_{57}La \rightarrow Ce \rightarrow Pr \rightarrow Nd \rightarrow 61 \rightarrow Sm \rightarrow {}^{151}Eu.$$

Savitch (585) beobachtet ein aktives Gas mit der Periode von etwa 20 min.

McMillan (589) eine starke Aktivität von 25 min und von etwa 2 d.

Magnan (531) stellt Perioden von 45 sec, 18 min und 45 min fest.

Thibaud u. a. (547) bestätigen ihre frühere Beobachtung eines aktiven Bromisotops.

Meitner u. a. (560) deuten die bekannten Perioden von 10 und 40 sec als Isotope des Elementes „Masurium" (43), während die 24-min-Periode wahrscheinlich zu dem aktiven Uranisotop ^{239}U gehört, das mit dieser Halbwertszeit in ein langlebiges *Eka-Re*-Isotop übergeht.

Später (591) fangen sie die Spaltungsprodukte auf und schließen aus chemischen Untersuchungen und den Zerfallskurven, daß ein beträchtlicher Teil ihrer Aktivität den früheren „Transuranen" zugeordnet worden war. Folglich müssen die „Transurane" in Wirklichkeit Elemente leichter als Uran sein.

Joliot (648) untersucht ebenfalls die Rückstoßteilchen und beobachtet die Aktivitäten von 8 min, 60 min und 3–4 h Halbwertszeit. Die letztere Periode tritt auch bei Thorium auf und deutet auf das gleiche aktive Isotop hin.

Durch Herabsetzung der Neutronengeschwindigkeit werden die Aktivitäten verstärkt, und zwar die kurzlebigen um den Faktor 2, die langlebigen mehr. Es werden durch langsame Neutronen also vorwiegend die langlebigen aktiven Isotope gebildet.

Heyn u. a. (574) finden folgende Perioden von:

1. 16 $\pm$ 2 min mit einem aktiven *Kr*-Isotop.
2. Etwa 0,5 min mit einem aktiven *Xe*-Isotop.
3. 1–2 min mit einem aktiven *Cs*- oder *Rb*-Isotop.
4. 10 min, 30 min und längerer Halbwertszeit mit aktiven *Cs*-Isotopen.

   Die Halbwertszeit der 30-min-Aktivität wird von ihnen später (568) zu 33 min gemessen.
5. 16 $\pm$ 2 min mit einem aktiven *Rb*-Isotop.
6. 87 $\pm$ 1 min und langer Halbwertszeit mit aktiven *Ba*-Isotopen.

   Die kurze Periode stammt wahrscheinlich von der 10-min-*Cs*-Periode.

Sie geben für ihre Ergebnisse folgende Deutung:

$$^{139}Xe \xrightarrow{\sim 0,5\,\text{min}} {}^{139}Cs \xrightarrow{10\,\text{min}} {}^{139}Ba \xrightarrow{87\,\text{min}} {}^{139}La\,(\text{stabil})$$

$$Xe \xrightarrow{\sim 0,5\,\text{min}} Cs \xrightarrow{30\,\text{min}} Ba \xrightarrow{\text{lang}} La$$

$$^{88}Kr \xrightarrow{\qquad} {}^{88}Rb \xrightarrow{17\,\text{min}} {}^{88}Sr\,(\text{stabil}).$$

Feather u. a. (594) beobachten ein aktives Jod- und Tellurisotop mit den Halbwertszeiten von 2,5 h und 66 h.

Bretscher u. a. (570) finden bei der Untersuchung der Spaltungsprodukte die Perioden von:

1. 86 min mit einem aktiven *Ba*-Isotop,
2. 4 h und 40 h mit aktiven *La*-Isotopen,
3. 16 min, 75 min und 72–76 h im *Pt*-Niederschlag. Die aktiven Isotope sind aber keine Transurane,

und einige schwache Aktivitäten, die von der 23-min-Uranperiode abstammen.

Abelson (595) gibt in Erweiterung seiner früheren Versuche Kenntnis von den aktiven Isotopen des:

1. Antimons mit den Halbwertszeiten von 5 min, $\lessdot$ 15 min, 40 min und 4,6 h,
2. Tellurs mit den Halbwertszeiten von 40 min, 70 min (^{129}Te), 1 h und 72 h,
3. Jods mit den Halbwertszeiten von 54 min, 2,5 h, 22 h und 8 d (^{131}J).

Die 54-min- und 22-h-Perioden sind isomer, wobei die kürzere Periode dem angeregten Zustand entspricht.

Zwischen diesen Aktivitäten bestehen folgende Zusammenhänge:

$$Sb\,(15\,\text{min}) \rightarrow Te\,(72\,\text{h}) \rightarrow J\,(2,5\,\text{h})$$
$$Sb\,(4,6\,\text{h}) \rightarrow Te\,(70\,\text{min})$$
$$Te\,(40\,\text{min}) \rightarrow J\,(54\,\text{min})$$
$$Te\,(1\,\text{h}) \rightarrow J\,(22\,\text{h})$$

In einer späteren Untersuchung (601) zeigen sich außerdem die Perioden von 25 min, 10 h und 30 h mit aktiven *Te*-Isotopen, und es ergeben sich die weiteren Zusammenhänge:

$$^{127}Sb\,(82\,\text{h}) \rightarrow {}^{127}Te\,(10\,\text{h})$$
$$^{131}Te\,(30\,\text{h}) \rightarrow {}^{131}J\,(8\,\text{d})$$
$$Te\,(25\,\text{min}) \rightarrow J\,(8\,\text{d}).$$

Bei der 8 d-^{131}J-Periode treten Röntgenstrahlen des Xenons auf. Die früheren Perioden von 4,6 h und 70 min werden *Te*- bzw. *J*-Isotopen mit der Masse 129 zugeschrieben.

Es bewahrheitet sich nicht, daß die Isotopen der 54-min- und 22-h-Perioden isomer sind.

Dodson u. a. (572) können die von Abelson angegebene Jodaktivität von 2,5 h nicht finden. Dagegen beobachten sie die Perioden von etwa 45 min und 12 h mit chemisch nachgewiesenen Jodisotopen und eine solche von etwa 40 min mit einem chemisch nachweisbaren Bromisotop.

Bjerge u. a. (558) und Frisch (660) untersuchen die Zerfallskurve des Gemisches aller Spaltungsprodukte, die bei verschieden langer Bestrahlung des Urans mit schnellen und langsamen Neutronen und des Thoriums mit schnellen Neutronen entstehen. Die Kurven sind einander fast vollkommen gleich.

Glasoe u. a. (606) untersuchen:

1. die sich auf einer dem bestrahlten Uran gegenüberstehenden Zellophanschicht niederschlagenden Spaltungsprodukte und finden die Aktivitäten von 3, 10, 17, 32 bzw. 35, 80 min, etwa 6 bzw. 9 h;
2. die durch einen Stickstoffstrom fortgeführten Produkte und beobachten die Perioden von 35 sec, 3, 5, 10, 20, 32, 86 min und 10 h.

Barschall u. a. (607) stellen die Perioden von 0,3–0,9 sec, 3–4 sec und 11–15 sec fest, wobei die beiden längeren nahezu mit denen der Neutronenemission übereinstimmen.

Buk u. a. (579) berichten von einem aktiven Bromisotop.

Segré (610) befaßt sich eingehend mit der bekannten 23-min-Periode. Sie gehört zu einem Uranisotop, das in ein Isotop des Elements 93 zerfallen müßte. Die Suche nach α-Teilchen, die auf das Vorhandensein dieses Isotops hindeuten würden, war auch an einem 2 Jahre lang bestrahlten Uranpräparat vergeblich. Folglich muß das Isotop 93 sehr langlebig sein.

Die 2,3-d-Periode stammt nicht von der 23-min-Periode ab, sondern gehört zu einer seltenen Erde (wahrscheinlich schwerer als Lanthan).

Irvine (611) untersucht ebenfalls die 23-min-Periode nach einer 10fachen Konzentrierung. Anzeichen für ein aus dieser Periode entstehendes Isotop 93 waren nicht zu entdecken. Existiert ein solches, so muß seine Halbwertszeit weniger als 1 min oder mehr als 11 h betragen.

Anderson u. a. (612) bestätigen das frühere Ergebnis, daß die 23-min-Periode durch einen Resonanzprozeß bei etwa 25 eV verursacht wird.

Glasoe u. a. (614) finden Perioden von 10, 20, 80 min, 6 und 40 h und unter den gasförmigen Produkten solche von 10 und 80 min.

Abelson (617) untersuchte nochmals die bei der Bestrahlung von Uran mit schnellen und langsamen Neutronen vorliegenden Verhältnisse und findet folgende Ergebnisse:

1. Die bekannte 77 h-Periode ist, wie bereits bekannt, mit der Emission von Röntgenstrahlen verbunden. Während man diese bisher für die *L*-Strahlung eines Transurans hielt, zeigen die jetzigen Versuche, daß sie die *K*-Strahlung des Jods ist. Das aktive Isotop ist ein *Te*-Isotop, das in das
2. aktive Jodisotop mit der Halbwertszeit von 2,4 h übergeht. Auch diese Periode war früher einem Transuran zugeschrieben worden und sollte aus der 59-min-Periode hervorgehen. Tatsächlich stammt sie von der
3. 5-min-Periode eines aktiven Antimonisotops.

Es besteht also folgender Zusammenhang:

$$Sb\ (5\ \text{min}) \rightarrow Te\ (77\ \text{h}) \rightarrow J\ (2{,}4\ \text{h}) \rightarrow Xe.$$

Es werden weiterhin beobachtet:

4. eine 4,2-h-Periode mit einem aktiven *Sb*-Isotop,
5. eine 70-min-Periode mit einem aktiven *Te*-Isotop, wahrscheinlich ^{129}Te, das von dem 4,2-h-Isotop abstammt:

$$Sb\ (4{,}2\ \text{h}) \rightarrow Te\ (70\ \text{min}),$$

6. eine 80-h-Periode mit einem aktiven *Sb*-Isotop,
7. eine 10-h-Periode mit einem aktiven *Te*-Isotop, wahrscheinlich ^{127}Te, das aus dem 80-h-Isotop hervorgeht:

$$^{127}Sb\ (80\ \text{h}) \rightarrow {}^{127}Te\ (10\ \text{h}),$$

8. eine 30-h-Periode,
9. eine 30-min-Periode.

Die beiden letzten Perioden sind isomer und gehören zu ^{131}Te.

10. Eine 8-d-Periode mit einem aktiven *J*-Isotop, wahrscheinlich ^{131}J, das aus dem isomeren Isotop ^{131}Te mit den Halbwertszeiten von 30 min und 30 h gebildet wird:

$$^{131}Te \left\{ \begin{matrix} (30\ \text{min}) \\ (30\ \text{h}) \end{matrix} \right\} \rightarrow {}^{131}J\ (8\ \text{d}),$$

11. eine Periode von weniger als 10 min mit einem aktiven *Sb*-Isotop,
12. eine Periode von 43 min, deren aktives *Te*-Isotop aus dem *Sb*-Isotop der vorigen Periode hervorgeht,
13. eine Periode von 54 min, deren aktives *J*-Isotop aus dem Isotop der vorigen Aktivität entsteht:

$$Sb\ (10\ \text{min}) \rightarrow Te\ (43\ \text{min}) \rightarrow J\ (54\ \text{min}),$$

14. eine Periode von weniger als 10 min mit einem aktiven *Sb*-Isotop,
15. eine Periode von 60 min, deren aktives *Te*-Isotop von dem *Sb*-Isotop der vorigen Periode stammt, und
16. eine Periode von 22 h, deren aktives *J*-Isotop aus dem *Te*-Isotop der vorigen Aktivität entsteht:

$$Sb\ (< 10\ \text{min}) \rightarrow Te\ (60\ \text{min}) \rightarrow J\ (22\ \text{h}).$$

Eine Anzahl von Messungen bezieht sich auf den Wirkungsquerschnitt des Urankerns; im einzelnen ergab sich als

1. Wirkungsquerschnitt für die Spaltung durch schnelle Neutronen:

$\sigma_{SP} = 1 \cdot 10^{-25}\ \text{cm}^2$ nach Thibaud u.a. (547) und Anderson u.a. (590),
$= 5 \cdot 10^{-25}\ \text{cm}^2$ nach Ladenburg u. a. (564).

2. Wirkungsquerschnitt für die Spaltung durch langsame Neutronen:

$\sigma_{SP} = 2–3 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach Reddemann u.a. (618),
$= 2 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach Anderson u.a. (590, 612).

3. Wirkungsquerschnitt für das Einfangen langsamer Neutronen:

$\sigma_e = 11 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach Whitacker u. a. (598) (für metallisches Uran),
$= (5{,}9 \pm 1) \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ (603) [Spaltung und Resonanz]
$= 1{,}2 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (612),
$= 1{,}3 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (618),
$= 1{,}3 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (662).

4. Wirkungsquerschnitt für das Einfangen schneller Neutronen:

$$\sigma_e \leqq (4 \pm 1) \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2\ (603).$$

5. Wirkungsquerschnitt für die Streuung der Neutronen:

$\sigma_S = 12 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (598) (für metallisches Uran),
$= 66 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (618) (für Uranoxyd).

6. Gesamtwirkungsquerschnitt, der den Spaltungs-, Einfang- und Streuprozeß umfaßt:

$\sigma = 23{,}1 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (598),
$= 11{,}2 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ nach (577),
$= 22 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ für metallisches Uran (618) und
$= 76 \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^2$ für Uranoxyd U_3O_8 (618).

Bestrahltes Element	Aktives Isotop	Halbwertszeit in min	Ausbeute bezogen auf Element		Ausbeute bezogen auf das Ausgangsisotop	
			Li-γ	*B*-γ	*Li*-γ	*B*-γ
7. *N*	^{13}N	10,3	< 1,5	< 8	< 1	< 6
8. *O*	^{15}O	2,1	3	< 5	2	< 4
9. *F*	^{18}F	112	< 5	< 5	< 4	< 4
14. *Si*	^{27}Si	6,7	< 2	< 8	< 2	< 6
15. *P*	^{30}P	3	31	22	21	15
17. *Cl*	^{34}Cl	33	6	< 8	5	< 7
21. *Sc*	^{44}Sc	240	—	—	—	—
29. *Cu*	^{62}Cu	10,5	100	100	100	100
30. *Zn*	^{63}Zn	38	30	25	40	34
31. *Ga*	^{68}Ga	60	55	66	61	73
	^{70}Ga	20	13	27	23	48
34. *Se*	*Se*	17	3	~ 8	—	—
	Se	57	5	~ 8	—	—
35. *Br*	^{78}Br	6	43	44	59	60
	^{80}Br	18	52	37	71	50
		270	58	14	79	19
42. *Mo*	*Mo*	17	23	15	—	—
47. *Ag*	^{106}Ag	24	50	43	65	56
	^{108}Ag	2,3	40	62	57	89
51. *Sb*	^{120}Sb	15	35	32	43	39
52. *Te*	*Te*	60	11	20	—	—

Ladenburg u. a. (564) stellen weiterhin fest, daß für Neutronen von 2,1, 2,4, 2,9 und 3,1 MeV das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte von Uran und Thorium innerhalb des Fehlers von 10 Proz. konstant ist.

Die große Zahl der innerhalb des ersten halben Jahres nach Entdeckung des Spaltungsprozesses durchgeführten Untersuchungen weist mit großer Eindringlichkeit auf die Fruchtbarkeit dieses modernsten Gebietes der physikalischen Forschung hin.

VI. Künstliche Radioaktivität durch Röntgen- und γ-Strahlen

Bothe und Gentner (624) untersuchen eine Reihe von Elementen auf ihr Verhalten gegenüber den durch Beschießung von Lithium bzw. Bor mit Protonen entstehenden γ-Strahlen von 17 bzw. 12,8 MeV. Ihre Ergebnisse sind in einer Übersicht wiedergegeben, wobei die erstmalig aktivierten Elemente doppelt unterstrichen sind.

29. *Cu.* Als Wirkungsquerschnitt für die *Li*-γ-Strahlung ergab sich wie früher der Wert von $5 \cdot 10^{-26}$ cm^2 und für die *B*-γ-Strahlung $2,2 \cdot 10^{-26}$ cm^2.

34. *Se.* Bei Verwendung der *Li*-γ-Strahlung von 17 MeV traten zwei Perioden auf. Es sind wahrscheinlich die Perioden von 17 und 57 min, die auch bei Beschießung von Selen mit Deutonen entstehen. In letzterem Falle soll das 17-min-Isotop in das aktive Bromisotop ^{83}Br der Halbwertszeit von 2,5 h übergehen.

Der Zerfall wird hier von Bothe und Gentner nicht beobachtet.

35. *Br.* Bothe und Gentner (624) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, daß die bekannte Periode von 4,5 h einem metastabilen Zustand des Isotops ^{80}Br zuzuschreiben ist, dessen Grundzustand mit der Halbwertszeit von 18 min zerfällt.

Nach den früheren Ergebnissen von Snell entsteht bei Beschießung von Selen mit Deutonen über den (d, p)-Prozeß ein aktives *Se*-Isotop, das in ein aktives Bromisotop mit der Halbwertszeit von 2,5 h zerfällt.

Das gleiche aktive *Se*-Isotop sollte durch langsame Neutronen entstehen und damit auch das 2,5 h-*Br*-Isotop. Für letzteres fanden Bothe und Gentner jedoch keine Anzeichen, ebenso wie bei Bestrahlung des Selen mit γ-Strahlen.

Teilchen	Prozeß	Energie	Verhältnis der Isomere 18 min/4,5 h
Protonen	$^{80}Se(p, n)^{80}Br$	4 MeV	15 (387)
		3,2 ,,	∞ (387)
Deutonen	$^{79}Br(d, p)^{80}Br$	5 ,,	2,1 (310)
Neutronen	$^{79}Br(n, \gamma)^{80}Br$	0 ,,	2 (361)
			2,2 (Fleischmann)
			2,3 (310)
	$^{81}Br(n, 2n)^{80}Br$	≤ 14 ,,	0,6 (361)
			0,8 (310)
γ-Quanten	$^{81}Br(\gamma, n)^{80}Br$	12 ,,	> 0,26 (624)
		17 ,,	0,9 (624)

Die Besetzung der isomeren Zustände bei der Entstehung der aktiven Isotope ^{80}Br hängt von der Art und der Energie der benutzten Teilchen ab. Durch die früheren Arbeiten von Snell (310), Soltan u. a. (361), Du Bridge u. a. (387), Fleischmann (Zeitschr. f. Phys. **107**, 204, 1937) und durch die jetzige Untersuchung von Bothe u. a. (624) liegen obige Ergebnisse vor.

49. *In.* Durch anderweitige Versuche hatte sich herausgestellt, daß Indium über den metastabilen Zustand des stabilen Isotops ^{115}In aktiviert werden kann. Es war also zu erwarten, daß Röntgenstrahlen zur Herstellung dieses metastabilen Zustandes und damit der dazugehörigen Aktivität ausreichen würden.

Pontecorvo u. a. (625) unternahmen einen diesbezüglichen Versuch, indem sie Indium mit einem kontinuierlichen Röntgenspektrum von maximal 1,85 MeV bestrahlten, und fanden auch die dem metastabilen Zustand zugeordnete Periode von 3,9 h.

Collins u. a. (626) wiederholten die Versuche mit einem Röntgenspektrum von maximal 1,73 MeV und beobachteten ebenfalls eine Periode von 4 h. Diese erforderte zu ihrer Anregung eine Röntgenenergie von mindestens 1,35 MeV.

Später (627) maßen sie die Mindestanregungsenergie zu 1,2 MeV und fanden Anzeichen für einen zweiten Anregungszustand des Isotops ^{115}In bei 1,55 MeV.

92. *U.* Heyn u. a. (574) versuchten, mit der *Li-γ*-Strahlung von 17 MeV in Uran Kernumwandlungen zu erzielen. Ihre Versuche waren jedoch erfolglos.

Literaturverzeichnis

1936

234 f) Neuninger und Rona, Wien. Anz. **73**, 159.

1937

359 e) Magnan, C. R. **205**, 1147.
359 f) Cacciapuoti und Segrè, Ri. Sci. **9**, 149.
359 g) Griffiths und Szilard, Nat. **139**, 323.
359 h) Rona und Schleichenberger, Wien. Ber. **8**, 146.
359 i) Segrè, Cim. (N. S.) **14**, 528.

1938

453) Mann, Phys. Rev. **54**, 649.
454) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **54**, 775.
455) Curran, Dee und Petrzilka, Proc. Roy. Soc. **169**, 269.
456) Strain, Phys. Rev. **54**, 1021.
457) Buck, Phys. Rev. **54**, 1025.
458) Heyn, Diss.
459) Wilson und Kamen, Phys. Rev. **54**, 1031.
460) Grahame, Phys. Rev. **54**, 972.
461) Alvarez, Phys. Rev. **53**, 606.
462) Govaerts, Bull. Soc. Roy. Sci. Lüttich **7**, 571.
463) Guében, An. Soc. Sci. Brüssel **58**, 236.
464) Hevesy und Levy, Dansk. Vidensk. Selsk. **15**, 11.
465) Crittenden und Bacher, Phys. Rev. **54**, 862.
466) Moussa und Laurent, Journ. de Phys. **9**, 245.
467) Guében, Bull. Soc. Roy. Sci. Lüttich **7**, 565.
468) Gurevich und Mescerikov, Phys. Zeitschr. UdSSR. **13**, 151.
469) Curie, Savitch und da Silva, Journ. de phys. **10**, 440.
470) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **26**, 755.
471) Ornstein, Milatz, van der Held und Maas, Proc. Amsterdam **41**, 1049.
472) Sinma und Yamasaki, Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokio **35**, 16.
473) Cacciapuoti und Segrè, Ri. sci. Progr. tecn. Econ. naz. **9**, 149.
474) Bjerge und Brostrom, Medd. Dansk. Vid. Selsk. **16**, 17.
475) Sugimoto, Nat. **142**, 754.
476) Amaki und Sugimoto, Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokio **34**, 1650.
477) Ripper, Ber. d. Oberhess. Ges. (N. F.) **8**, 72.
478) Hevesy und Levy, Medd. Kopenhagen **15**, 18.
479) Sinma und Yamasaki, Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokio **35**, 16.
480) Sagane, Kojima, Miyamoto und Ikawa, Phys. Rev. **54**, 970.
480a) Majer, Chem. Listy. Vedu. Prumysl **32**, 436.
480b) v. Droste, Zeitschr. f. Phys. **110**, 84.

1939

481) Alvarez und Cornog, Phys. Rev. **56**, 612.
482) King, Henderson und Risser, Phys. Rev. **55**, 1118.
483) Henderson und Doran, Phys. Rev. **56**, 123.
484) Walke, Williams und Evans, Proc. Roy. Soc. **170**, 27.
485) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 667.
486) Barnes und Aradine, Phys. Rev. **65**, 50.
487) Lark-Horovitz, Risser und Smith, Phys. Rev. **55**, 878.
488) Hill und Valley, Phys. Rev. **55**, 678.
489) Barkas, Phys. Rev. **56**, 287.
490) White, Delsasso, Fox und Creutz, Phys. Rev. **56**, 512.
491) Creutz, White, Delsasso und Fox, Phys. Rev. **56**, 207.
492) Delsasso, Ridenour, Sherr und White, Phys. Rev. **55**, 113.
493) Kuerti und van Voorhis, Phys. Rev. **56**, 614.
494) Hemmendinger, Phys. Rev. **55**, 604.
495) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 457.
496) Valley und McCreary, Phys. Rev. **55**, 666.
497) Du Bridge und Marshall, Phys. Rev. **56**, 706.
498) Ewing, Perry und McCreary, Phys. Rev. **55**, 1136.
499) Enns, Phys. Rev. **55**, 1118.
500) Barnes und Aradine, Phys. Rev. **55**, 50.
501) Barnes, Phys. Rev. **55**, 241.
502) Barnes, Phys. Rev. **56**, 414.
503) Seaborg, Livingood und Kennedy, Phys. Rev. **55**, 794.
504) Roberts, Meyer und Hafstad, Phys. Rev. **55**, 416.
505) Lyman, Phys. Rev. **55**, 234.
506) Richardson, Phys. Rev. **55**, 609.
507) Lyman, Phys. Rev. **55**, 1123.
508) Lawson, Phys. Rev. **56**, 131.
509) Watase und Itoh, Proc. Phys. Math. Soc. Jap. **21**, 626.
510) Walke, Williams und Evans, Proc. Roy. Soc. **171**, 360.
511) Curtis, Phys. Rev. **55**, 1136.
512) Cork und Curtis, Phys. Rev. **55**, 1264.
513) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 1268.
514) Sagane, Phys. Rev. **55**, 31.
515) Tyler, Phys. Rev. **55**, 1136.
516) Tyler, Phys. Rev. **56**, 125.
517) Sagane, Kojima, Miyamoto und Ikawa, Proc. Phys. Math. Soc. Jap. **21**, 660.
518) Stewart, Phys. Rev. **55**, 674.
519) Stewart, Phys. Rev. **56**, 629.
520) Cacciapuoti, Phys. Rev. **55**, 110.
521) Seaborg und Segré, Phys. Rev. **55**, 808.
522) Goldhaber, Hill und Szilard, Phys. Rev. **55**, 47.
523) Cork und Lawson, Phys. Rev. **55**, 1136.
524) Cork und Lawson, Phys. Rev. **56**, 291.
525) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 414.
526) Tape, Phys. Rev. **55**, 1135.
527) Abelson, Phys. Rev. **56**, 1.
528) Fajans und Stewart, Phys. Rev. **56**, 625.
529) Hill, Phys. Rev. **55**, 1117.
530) Libby und Lee, Phys. Rev. **55**, 245.
531) Magnan, C. R. **208**, 742.
532) Griffiths, Proc. Roy. Soc. **170**, 513.
533) Langer, Mitchell und McDaniel, Phys. Rev. **55**, 1123.
534) Norling, Naturwiss. **27**, 432.
535) Dunworth, Nat. **143**, 1065.
536) Langer, Mitchell und McDaniel, Phys. Rev. **56**, 422.
537) Abelson, Phys. Rev. **55**, 424.
538) Green und Alvarez, Phys. Rev. **55**, 417.
539) Schaeffer und Harteck, Zeitschr. f. Phys. **113**, 287.
540) Weil und Barkas, Phys. Rev. **56**, 485.
541) Saha, Naturwiss. **27**, 786.
542) Roussinow und Yusephovich, Phys. Rev. **55**, 979.
543) Segré, Halford und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 321.
544) Le Roux, Lu und Sugden, Nat. **143**, 517.
545) Siday, Nat. **143**, 681.
546) de Vault und Libby, Phys. Rev. **55**, 322.
547) Thibaud und Moussa, C. R. **208**, 744.
548) Rajam, Capron und de Hemptinne, Nat. **144**, 202.
549) Langer, Mitchell und McDaniel, Phys. Rev. **56**, 380.
550) Gentner, Naturwiss. **27**, 598.
551) Seaborg und Kennedy, Phys. Rev. **55**, 410.
552) Hevesy und Levy, Dansk. Vidensk. Selsk. **15**, 11.
553) Sinma und Yamasaki, Phys. Rev. **55**, 320.
554) Myssowski und Idanoff, Nat. **143**, 794.
555) Jentschke und Prankl, Naturwiss. **27**, 134.
556) Nat. **144**, 46.
557) Roberts, Meyer und Wang, Phys. Rev. **55**, 510.
558) Bjerge, Brostrom und Koch, Nat. **143**, 794.
559) Frisch, Nat. **143**, 276.
560) Meitner und Frisch, Nat. **143**, 239.
561) Fowler und Dodson, Nat. **143**, 233.
562) Libby, Phys. Rev. **55**, 1269.
563) Jentschke und Prankl, Physik. Zeitschr. **40**, 706.
564) Ladenburg, Kanner, Barschall und van Voorhis, Phys. Rev. **56**, 168.
565) Fowler und Dodson, Phys. Rev. **55**, 417.
566) Curie und Savitch, C. R. **208**, 343.
567) Joliot, C. R. **208**, 341.
568) Aten, Bakker und Heyn, Nat. **143**, 679.
569) Meitner, Nat. **143**, 637.
570) Bretscher und Cook, Nat. **143**, 559.
571, 576) Roberts, Hafstad, Meyer und Wang, Phys. Rev. **55**, 664.
572) Dodson und Fowler, Phys. Rev. **55**, 880.
573) Langsdorff, Phys. Rev. **56**, 205.
574) Heyn, Aten und Bakker, Nat. **143**, 516.
575) v. Grosse, Booth und Dunning, Phys. Rev. **56**, 382.
577) Goldstein, Rogozinski und Walen, Nat. **114**, 201.
578) Haxel, Zeitschr. f. Phys. **112**, 681.
579) Buk und Havas, C. R. **208**, 1643.
580) Magnan, C. R. **208**, 1218.
581) Dodé, Halban, Joliot und Kowarski, C. R. **208**, 995.
582) Haenny und Rosenberg, C. R. **208**, 898.
583) Joliot, C. R. **208**, 647.
584) Thibaud und Moussa, C. R. **208**, 652.
585) Savitch, C. R. **208**, 646.
586) Bohr, Phys. Rev. **55**, 418.
587) Abelson, Phys. Rev. **55**, 418.
588) Corson und Thornton, Phys. Rev. **55**, 509.
589) McMillan, Phys. Rev. **55**, 510.

590) Anderson, Booth, Dunning, Fermi, Glasoe und Slack, Phys. Rev. **55**, 511.
591) Meitner und Frisch, Nat. **143**, 471.
592) Halban, Joliot und Kowarski, Nat. **143**, 470.
593) v. Droste, Naturwiss. **27**, 198.
594) Feather und Bretscher, Nat. **143**, 516.
595) Abelson, Phys. Rev. **55**, 670.
596) Anderson, Fermi und Hanstein, Phys. Rev. **55**, 797.
597) Szilard und Zinn, Phys. Rev. **55**, 799.
598) Whitacker, Barton, Bright und Murphy, Phys. Rev. **55**, 793.
599) Halban, Joliot und Kowarski, Nat. **143**, 680.
600) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 876.
601) Abelson, Phys. Rev. **55**, 876.
602) Kennedy und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 877.
603) Michiels, Parry und Thomson, Nat. **143**, 760.
604) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 981.
605) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 982.
606) Glasoe und Steigmann, Phys. Rev. **55**, 982.
607) Barschall, Harris, Kanner und Turner, Phys. Rev. **55**, 989.
608) v. Droste und Reddemann, Naturwiss. **27**, 371.
609) Rotblat, Nat. **143**, 852.
610) Segré, Phys. Rev. **55**, 1104.
611) Irvine, Phys. Rev. **55**, 1105.
612) Anderson und Fermi, Phys. Rev. **55**, 1106.
613) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 1124.
614) Glasoe und Steigmann, Phys. Rev. **55**, 1124.
615) Halban, Joliot und Kowarski, Nat. **143**, 939.
616) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 451.
617) Abelson, Phys. Rev. **56**, 1.
618) Reddemann und Bomke, Naturwiss. **27**, 518.
619) Gibbs und Thomson, Nat. **144**, 202.
620) Mouzon und Park, Phys. Rev. **56**, 238.
621) Anderson, Fermi und Szilard, Phys. Rev. **56**, 284.
622) Henderson, Phys. Rev. **56**, 703.
623) Zinn und Szilard, Phys. Rev. **56**, 619.
624) Bothe und Gentner, Zeitschr. f. Phys. **112**, 45.
625) Pontecorvo und Lazard, C. R. **208**, 99.
626) Collins, Waldman, Stubblefield und Goldhaber, Phys. Rev. **55**, 507.
627) Waldman, Collins, Stubblefield und Goldhaber, Phys. Rev. **55**, 1129.
628) Pollard, Phys. Rev. **56**, 1168.
629) Bethe und Henderson, Phys. Rev. **56**, 1060.
630) King und Henderson, Phys. Rev. **56**, 1169.
631) Strain, Phys. Rev. **55**, 679.
632) Valley und McCreary, Phys. Rev. **56**, 863.
633) Enns, Phys. Rev. **56**, 872.
634) Kikuchi, Watase, Itoh, Takeda und Yamaguchi, Proc. Phys. Math. Soc. Jap. **21**, 41.
635) Kikuchi, Watase, Itoh, Takeda und Yamaguchi, Proc. Phys. Math. Soc. Jap. **21**, 52.
636) Davidson, Phys. Rev. **56**, 1062.
637) Kennedy, Seaborg und Segré, Phys. Rev. **56**, 1095.
638) Tape, Phys. Rev. **56**, 965.
639) Lawrance, Proc. Cambr. Phil. Soc. **35**, 304.
640) Baldinger und Huber, Nat. **143**, 894.
641) Langer, Mitchell und McDaniel, Phys. Rev. **56**, 962.
642) Kikuchi, Watase, Itoh, Takeda und Yamaguchi, Proc. Phys. Math. Soc. Jap. **21**, 260.
643) Bacon, Grisewood und v. d. Merwe, Phys. Rev. **56**, 1168.
644) Richardson, Phys. Rev. **55**, 326.
645) Sizoo und Eijkman, Physica **6**, 332.
646) de Vries und Diemer, Physica **6**, 599.
647) Bohr und Wheeler, Phys. Rev. **56**, 1065.
648) Joliot, Journ. de phys. **10**, 159.
649) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 11.
650) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 89.
651) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 163.
652) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 451.
653) Lieber, Naturwiss. **27**, 421.
654) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 529.
655) Hahn, Straßmann und Flügge, Naturwiss. **27**, 544.
656) Hahn und Straßmann, Physik. Zeitschr. **40**, 673.
657) Hahn, Ann. d. Phys. **36**, 368.
658) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **28**, 54, 1940.
658a) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **28**, 61, 1940.
659) Hahn und Straßmann, Abh. d. Pr. Akad. d. Wiss. **12**.
660) Frisch, Nat. **143**, 852.
661) Mouzon, Park und Richards, Phys. Rev. **55**, 668.
662) Halban, Kowarski und Savitch, C. R. **208**, 1396.
663) Ward, Proc. Cambr. Phil. Soc. **35**, 523.
664) Watase und Itoh, Proc. Phys.-Math. Soc. Jap. (3) **20**, 809, Nr. 10.
665) Kikuchi, Watase, Itoh, Takeda und Yamaguchi, Proc. Phys.-Math. Soc. Jap. (3) **21**, 389, Nr. 7.

Berücksichtigtes Schrifttum

1) Physikalische Zeitschrift: bis einschließlich Bd. 41, Nr. 2, 15. Januar 1940.
2) Zeitschrift für Physik: bis einschließlich Bd. 115, H. 2, 13. Januar 1940.
3) Naturwissenschaften: bis einschließlich Bd. 28, H. 4, 26. Januar 1940.
4) Physikalische Berichte: bis einschließlich Bd. 21, H. 4, 1940.
5) Physical Review: bis einschließlich Bd. 56, Nr. 11, 1. Dezember 1939 (ohne Nr. 8).
6) Nature: bis einschließlich Bd. 144, H. 3644, 2. September 1939.
7) Proc. Roy. Soc. London: bis einschließlich Bd. 171, Nr. 947, 7. Juli 1939.
8) Comptes rendus: bis einschließlich Bd. 209, H. 7, 16. August 1939.
9) Physica: bis einschließlich Bd. 6, Nr. 10, Dezember 1939.

Berlin-Dahlem, Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik.

(Eingegangen 24. Februar 1940)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

L. Bergmann, Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. 358 S. Mit 225 Bildern. Berlin 1939. VDI-Verlag G.m.b.H. RM 25.—.

In den wenigen Monaten, die seit dem Erscheinen der 1. Auflage dieses Buches verstrichen sind, hat die geradezu stürmische Entwicklung der Ultraschallforschung weiter angehalten, wie auch der Fernerstehende weiß. Die älteren Gedankengänge sind ausgebaut und vertieft worden, haben in Nachbargebiete fruchtbringend übergegriffen, und zu den Anwendungen sind neue hinzugetreten. Die dadurch erschwerte Aufgabe, eine neue Auflage herauszubringen, hat der Verfasser gelöst mit dem großen darstellerischen Geschick, das von der 1. Auflage in guter Erinnerung ist, weil es auf alle nicht immer sehr homogenen Wünsche der Leserschaft verständnisvoll einzugehen weiß. Neben vielen kleineren Veränderungen in fast allen Abschnitten, die teils der neueren Entwicklung Rechnung tragen, teils älteres verbessern, sind als neuaufgenommene Teile zu nennen: Ein Abschnitt über die Bestimmung der elasto-optischen Konstanten mittels Ultraschallwellen, weitere über die Verwendung von Ultraschallwellen beim Fernsehen und in der Metallkunde (Beschallung von Metallschmelzen führt oft zu nicht unerheblichen Gefügeveränderungen). Starke Erweiterungen erfuhren die Abschnitte über das Ultraschallstroboskop, die Anwendungen bei der Materialprüfung, zum Dispergieren und überhaupt in der Kolloidchemie. In der Art der Darstellung ist der Verfasser seinem ursprünglichen Grundsatz, eine ausführliche und gründliche Klarlegung des experimentellen Materials zu geben und dann auch das Theoretische möglichst bis zum physikalischen Verstehen zu entwickeln, treu geblieben. Eine reichhaltige Verwendung guter Abbildungen, instruktiver Schemata und von Tabellen erhöht zusammen mit dem jetzt wohl vollständigsten Literaturverzeichnis den Wert des Buches, das für jeden, der mit Ultraschall arbeitet, unentbehrlich sein dürfte.

F. Rogowski

L. Föppl, Aufgaben aus technischer Mechanik. Unterstufe: Statik, Festigkeitslehre, Dynamik. 2. veränderte Auflage (Manuldruck). Gr.-8°. VIII u. 194 S. Mit 317 Abb. München und Berlin 1939. R. Oldenbourg. Kart. RM 10.—.

Die vorliegende Aufgabensammlung aus dem Gebiet der technischen Mechanik ist hervorgegangen aus der langjährigen Vorlesungs- und Übungstätigkeit des Verfassers an der Münchner technischen Hochschule. An Hand einer reichen Erfahrung sind hier zweihundert Aufgaben gesammelt, die auch dem studierenden Physiker die praktische Verwertung erworbener theoretischer Kenntnisse aus dem Gebiet der Mechanik an zahlreichen lebensnahen Beispielen zeigen.

Der erzieherische Wert der Durchrechnung geschickt gewählter Aufgaben ist vielleicht gerade in dem Gebiet der von den Studierenden häufig als etwas trocken empfundenen Mechanik besonders hoch einzuschätzen. So wird die vorliegende Aufgabensammlung dem Dozenten zur Belebung jedes Unterrichts in Mechanik, besonders in technischer Mechanik, ein sehr willkommenes Hilfsmittel sein. Für den Studenten ist praktischerweise an die Spitze der einzelnen Paragraphen ein kurzes Repetitorium der einschlägigen Gesetzmäßigkeiten gestellt. Die Aufgaben enthalten sämtlich Angaben über die Lösung, oft auch den Lösungsweg. Wünschenswert wäre noch eine Ergänzung der Sammlung durch Aufgaben aus der Strömungslehre.

L. Schiller

K. Gey u. H. Teichmann, Einführung in die Lehre vom Schuß (Ballistik). (Math.-Physik. Bibl. Reihe II, Bd. 11). 3. Aufl. 128 S. Mit 69 Figuren und 2 Tafeln. Leipzig u. Berlin 1939. B. G. Teubner. Geb. RM 3.60.

Die neue Auflage ist gegenüber der vorigen (vgl. diese Zeitschrift **39**, 430, 1938) etwas erweitert worden, entsprechend den neuen Abschnittsüberschriften: Flugbahnversuche mittels Wasserstrahls; Flugbahnbeeinflussung durch die Erddrehung; Das Schießen nach beweglichen Zielen; Thermisches Verhalten idealer Gase; Eigenschaften des Pulvers, Abelsche Gleichung; Verhalten und Aufbau der Schußwaffe. — In Fig. 16 wäre eine Abänderung der Bezeichnungsweise erwünscht, so daß den Bahnpunkten O_1, O_2, O_3, O_4, statt P, Q, R, S, etwa P_1, P_2, P_3, P_4 entsprächen. In Fig. 36 sollte man vielleicht das Wort „Visiervorrichtung“ durch das beim Militär gebräuchliche „Visiereinrichtung“ ersetzen.

Möbius

Georg Simon Ohm als Lehrer und Forscher in Köln 1817 bis 1826. Festschrift zur 150. Wiederkehr seines Geburtstages. Hrsgg. vom Kölnischen Geschichtsverein in Verbindung mit der Universität und dem Staatlichen Dreikönigs-Gymnasium in Köln. Gr.-8°. VIII u. 328 S. Mit zahlreichen Abbildungen. Köln. Kommissionsverlag J. P. Bachem. Geb. RM 6.—, brosch. RM 4.50.

Am 16. März 1789 wurde Georg Simon Ohm in Erlangen als Sohn eines Schlossers geboren. Neun Jahre seines Lebens, 1817—1826, hat er in Köln als Oberlehrer für Mathematik und Physik am Kölnischen Gymnasium zugebracht. Dort stellte er im Januar 1826 seine grundlegenden Versuche an und entdeckte das „Ohmsche Gesetz der elektrischen Ströme“. So hat die Stadt Köln die 150. Wiederkehr von Ohms Geburtstag zum Anlaß genommen, ihres großen Lehrers und Forschers in einer Festschrift zu gedenken.

In einer Anzahl Abhandlungen von verschiedenen Autoren, die Ohms Leben und Leistungen, insbesondere aus seiner Kölner Zeit, und seine Kölner Umwelt zeichnen, wird, auch an Hand ausführlich wiedergegebener Briefe u. ä., ein lebendiges Bild von Ohm, seinem Ergehen und seinem Arbeiten entworfen. Weiterhin wird in zwei Abhandlungen die Bedeutung des Ohmschen Gesetzes für

die Technik (F. Meyer) und der Weg von ihm in die heutige Physik hinein (J. Malsch) aufgezeigt. Hieran schließt sich — im reizvollen Kontrast zu Ohms einfachen Mitteln — ein Abschnitt über den Neubau des Physikalischen Instituts der Universität Köln (J. Kirchner). Eine Übersicht über Ohms Fortgelaten und ausführliche Quellenangaben beschließen den Band, der einen wertvollen Beitrag zur Geschichte der großen deutschen Naturforscher darstellt. — L. Schiller.

K. Stumpff, **Tafeln und Aufgaben zur harmonischen Analyse und Periodogrammrechnung.** Gr. 4°. VII u. 174 S. Mit 18 Fig. Berlin 1939. Julius Springer. Geh. RM 30.—, geb. RM 30.60.

In handlichem Umfang und drucktechnisch hervorragender Gestaltung werden im ersten Teil dieses Buches die zur Ausführung sowohl von harmonischen Analysen als auch von Periodogrammrechnungen erforderlichen numerischen Hilfsmittel mit einer praktisch im allgemeinen hinreichenden Genauigkeit ebenso bequem wie übersichtlich zusammengestellt. Der zweite Teil enthält eine eingehende, jeweils durch ein Zahlenbeispiel abgeschlossene Erläuterung von 15 Aufgaben, deren sorgfältige Durchsicht dem Leser die Fähigkeit vermitteln kann, die wichtigsten einschlägigen Verfahren selbständig zur Anwendung zu bringen.

Harry Schmidt.

Nachrichten

Briefwechsel Alexander Volta. Das R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere in Milano beabsichtigt den gesamten Briefwechsel von Conte Alessandro Volta herauszugeben. Er ist dort kürzlich von Professor Francesco Massardi katalogisiert worden. Von den vorhandenen 750 Briefen Voltas sind noch 450 unbekannt. Ferner sind von 602 an ihn gerichteten Briefen bisher nur 40 veröffentlicht worden.

Werkstoffe und Chemie. Diese Kongreßschau wird anläßlich des Reichstreffens der Deutschen Chemiker von der DECHEMA, Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen E. V. im NS.-Bund Deutscher Technik, vom 28. Juli bis 4. August 1940 in Breslau auf dem dortigen Ausstellungsgelände durchgeführt werden.

Dozenturen: Der Direktor bei der Deutschen Seewarte in Hamburg Professor Dr. Ernst Kleinschmidt für Instrumentenkunde an der dortigen Hansa-Universität, an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Werner Albrecht für anorganische und analytische Chemie, an der Universität Frankfurt a. M. der Dozent an der Universität Heidelberg Dr. Karl Bode für Astronomie, an der Universität München Dr. Walter Rollwagen für Physik.

Ernannt: Der Abteilungsleiter beim Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem Professor Dr.-Ing. Alfred Hummel zum Direktor bei derselben Anstalt, der Dozent an der Technischen Hochschule Dresden Dr.-Ing. Kurt Schwabe zum außerplanmäßigen Professor für physikalische Chemie und Elektrochemie ebendaselbst, der Dozent für physikalische Chemie an der Bergakademie Clausthal Dr. Martin Linhard zum außerplanmäßigen Professor daselbst, der a. o. Professor an der Universität Graz Dr. Armin Dadieu zum ord. Professor für physikalische Chemie ebenda, der Dozent für organische Chemie an der Universität Graz Dr. Alfred Pongratz zum außerplanmäßigen Professor ebendaselbst; der Dozent für organische Chemie an der Universität Wien Dr. Georg Koller zum außerplanmäßigen Professor an der gleichen Hochschule, der Dozent Dr. Heribert Schober an der Technischen Hochschule Wien zum a. o. Professor für technische Physik an derselben Hochschule.

Gestorben: Der ord. Professor der physikalischen Chemie an der Universität Gießen Dr. Hermann Reinhold, der Lektor für analytische Chemie an der Technischen Hochschule in Helsinki Dr. phil. Dipl.-Ing. I. U. Ant. Vuosinen, der Schatzmeister des Physikalischen Vereins Frankfurt a. M. Dr. Otto Baither, der frühere ord. Professor für Maschinenbau an der Technischen Hochschule Berlin Geh. Regierungsrat Dr. Emil Josse, der ord. Professor für Wehrtechnik, Physik und Ballistik an der Technischen Hochschule Berlin und Honorarprofessor an der Universität daselbst General der Artillerie Dr.-Ing. Karl Becker, Chef des Heereswaffenamtes.

Nachruf

Am 29. März 1940 starb unerwartet nach kurzer schwerer Krankheit Herr

Dr. Ernst Hochheim

im Alter von 63 Jahren.

Der Verstorbene stand seit dem Jahre 1914 in unseren Diensten. Bei der Gründung des Werkes Oppau kam er als erster Physiker in das Ammoniaklaboratorium und blieb dort bis zu seinem Tode.

Dank seiner umfassenden Fachkenntnisse hat er sich auf zahlreichen Arbeitsgebieten unseres Werkes betätigt, insbesondere hat er erfolgreich an den physikalischen Fragen, die bei der Ammoniak-Synthese auftraten, mitgewirkt. Neben der Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen verdankt ihm die Technik wertvolle Anregungen, von denen seine Vorschläge auf dem Gebiet der Fernmeldetechnik hervorzuheben sind. Auch aus den optischen Arbeiten seines Laboratoriums erhielten Wissenschaft und Technik wertvolle Förderung.

Der Verstorbene stand in lebhafter Verbindung mit den führenden Physikern der Wissenschaft und Technik. Er war ein treuer Berater aller Fachgenossen, die seine Hilfsbereitschaft oft in Anspruch nahmen. Durch sein lebendiges Wesen und seine große menschliche Güte erfreute er sich der Wertschätzung seiner Mitarbeiter und Untergebenen in hohem Maße.

Wir werden sein Andenken stets in Ehren halten.

Ludwigshafen a. Rh., den 8. April 1940

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Werke: Badische Anilin- und Soda-Fabrik

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany.